

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Механіко-машинобудівний інститут**

**Кафедра «Інтегровані технології машинобудування»**

«На правах рукопису»  
УДК 621923

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ В.А. Пасічник

«19» 12 2018 р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування**

**на тему: «Підвищення якості свердел із швидкорізальної сталі при магнітно-абразивному обробленні»**

Виконав

Іщик Дмитро Володимирович \_\_\_\_\_

Керівник:

Доктор технічних наук, професор,

Майборода В.С \_\_\_\_\_

Консультант з назва розділу:

Посада, науковий ступінь, вчене звання,

Прізвище, ініціали \_\_\_\_\_

Рецензент:

Доцент, кандидат технічних наук

Ромашко А.С \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Механіко-машинобудівний інститут**  
**Кафедра «Інтегровані технології машинобудування»**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою  
Спеціальність (спеціалізація) – 133 Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ В.А Пасічник

«03» 09 2018 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**  
**Іщик Дмитро Володимирович**

1. Тема дисертації Підвищення якості свердел із швидкорізальної сталі при магнітно-абразивному обробленні,

науковий керівник дисертації Майборода Віктор Станіславович, д.т.н професор,

затверджені наказом по університету від «05» 11 2018 р. №4081-С

2. Термін подання студентом дисертації \_\_\_\_\_

3. Об'єкт дослідження магнітно-абразивне оброблення свердел із швидкорізальної сталі на верстатах із кільцевим розташуванням робочої зони

4. Вихідні дані

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

аналіз сучасних методів підвищення якості свердел із швидкорізальної сталі та обґрунтування застосування технології МАО для підвищення якості свердел із швидкорізальної сталі та визначення проблематики, встановити вплив процесу МАО на показники якості свердел при застосуванні МАІ, який сформовано з різних типів МАП порівняльний аналіз використання різних магнітно-абразивних порошків (МАП) при МАО в умовах великих робочих щілин.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

Схеми підточок свердел, ілюстрації обладнання, матеріалів при дослідженнях, графіки результатів тощо

7. Орієнтовний перелік публікацій

8. Консультанти розділів дисертації\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання 03.09.18 року \_\_\_\_\_

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз сучасного стану проблематики та шляхів вирішення покращення процесу свердління	01.10.2018	
2	Виконання вимірювань експериментальних зразків	23.10.2018	
3	Отримання та опрацювання експериментальних зразків	20.11.2018	
4	Розробка базового стартап проекту	07.12.2018	

Студент

Д.В Іщик

Науковий керівник дисертації

В.С Майборода

## АНОТАЦІЯ

**Ішик Д.В. Підвищення якості свердел із швидкорізальної сталі при магніто-абразивному обробленні.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня магістра за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування. – Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського". – Київ, 2018.

Проаналізувавши сучасні методи покращення якості та продуктивності різальної кромки металорізального інструменту, на прикладі свердел, було обрано метод магнітно-абразивного оброблення. Даний метод дозволив досягти значного покращення якості різальної кромки (шорсткості), збільшення значення твердості поверхневого шару і відповідно – періоду стійкості свердла.

В дисертації проаналізовано шляхи вирішення проблеми стійкості інструменту при роботі, досліджено процес МАО шляхом проведення експлуатаційних випробувань свердел, оброблених цим методом. Магнітно-абразивні порошки було підібрано зважаючи на попередні роботи в цій галузі, а саме – використали порошки великих фракцій. Результати досліджень підтвердили доцільність їх використання наряду з порошками малих фракцій. Експериментальні дані використані та впроваджені на підприємстві ДП «Київський бронетанковий завод».

**Ключові слова.** *Магнітно-абразивне оброблення, свердло, магнітно-абразивний інструмент, магнітно-абразивний порошок, радіус заокруглення різальної кромки, період стійкості.*

## ANNOTATION

**Ischik D.V. Improving the quality of high-speed steel drills by magneto-abrasive machining.**

Dissertation for a Master's degree in specialty 133 – Branch mechanical-engineering. - National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky". - Kyiv, 2018. Having analyzed the modern methods of improving the quality and productivity of the cutting edge of the metal cutting tool, on the example of the drill, the method of magnetic abrasive treatment was chosen. This method has allowed to achieve a significant improvement in the quality of the cutting edge (roughness), an increase in the hardness of the surface layer and, respectively, the period of drill firmness.

In the dissertation the ways of solving the problem of instrument stability during work are analyzed, the process of MAO is investigated by carrying out operational tests of the drills processed by this method. Magnetically-abrasive powders were selected in the light of previous work in this field, namely, the use of powders of large fractions. The results of the studies confirmed the feasibility of their use, along with small fractions powders. Experimental data were used and implemented at the enterprise "Kyiv Armored Plant".

**Keywords.** *Magnetic abrasive treatment, drill, magnetic abrasive tool, magnetic abrasive powder, radius of rounding of a cutting edge, period of stability*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1.АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМАТИКИ ТА ШЛЯХІВ ПОКРАЩЕННЯ ПРОЦЕСУ СВЕРДЛІННЯ.....	12
1.1 Базові поняття процесу свердління та вплив геометрії свердел при обробленні отворів.....	12
1.2 Методи покращення різальної частини свердла .....	17
1.3 Аналіз характерних досліджень по визначенню параметрів зрізаного шару та діючих сил різання при свердлінні.....	20
1.4 Способи вдосконалення різальних кромek інструментів .....	22
1.5 Поняття МАО. Ідея методу та напрями для розвитку.....	25
1.6 Порошкові матеріали, що використовуються для МАО .....	28
1.7 Вплив магнітно-абразивного оброблення на стан поверхні і властивості поверхневого шару оброблених деталей.....	30
1.8 Вплив магнітного поля на оброблювану поверхню.....	33
1.9 Якість обробленої поверхні.....	33
2. ОБЛАДНАННЯ МАТЕРІАЛИ, МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	37
2.1 Характеристика і хімічний склад матеріалу оброблюваних свердел	38
2.2 Вимірювання шорсткості поверхні та радіусів заокруглення різальних кромek.....	39
2.3 Вимірювання поверхневої твердості.....	41
2.4 Обладнання для магнітно-абразивного оброблення.....	46
2.5 Магнітно-абразивні матеріали, що використовувались при МАО .....	47
2.6 Обладнання для проведення експерименту.....	49
2.7 Експлуатаційні дослідження свердел із швидкорізальної сталі .....	50
3 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	52
3.1 Дослідження впливу складу МАІ при МАО на показники якості свердл	52
3.1.1 Вплив складу МАІ на мікрогеометрію робочих елементів свердел...	53
3.1.2 Вплив складу МАІ на шорсткість робочих поверхонь свердел.....	57

3.1.3 Вплив складу МАІ під час МАО на поверхневу твердість свердел.....	59
3.2 Експлуатаційні дослідження свердел із швидкорізальної сталі.....	61
4. МАРКЕТИНГОВИЙ АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ МАО ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ СВЕРДЕЛ ІЗ ШВИДКОРІЗАЛЬНОЇ СТАЛІ.....	65
4.1 Зміст ідеї.....	65
4.1.2 Можливі напрямки застосування.....	67
4.1.3 Основні вигоди, що може отримати користувач товару.....	68
4.1.4 Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї.....	68
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	70
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту.....	70
4.3.1 Аналіз ринкового середовища.....	72
4.3.2 SWOT-аналіз.....	74
4.4 Розробка ринкової стратегії проекту.....	76
4.4.1 Опис цільових груп споживачів.....	78
4.4.2 Стратегія конкурентної поведінки.....	78
4.5 Розроблення маркетингової системи проекту.....	79
4.5.1 Маркетингова концепція товару.....	79
4.5.2 Визначення цінових меж товару.....	80
4.5.3 Визначення оптимальної системи збуту.....	80
ВИСНОВКИ.....	82
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	84

## ВСТУП

Одним з факторів, що забезпечують підвищення продуктивності праці при механічному обробленні, є збільшення стійкості різального інструменту (РІ), забезпечення його стабільної роботи, що особливо важливо при використанні автоматизованих комплексів. Якість РІ залежить від шорсткості, форми різальної кромки та фізико-механічних характеристик поверхневих шарів робочих елементів. Існує безліч сучасних методів фінішного оброблення для підвищення зазначених характеристик. Традиційні методи фінішного оброблення РІ спрямовані на підвищення експлуатаційних показників можна поділити на такі основні групи:

- методи механічного оброблення і зміцнення: алмазне шліфування і полірування, методи вібраційного, дрібноструменого і гідроабразивного оброблення, оброблення щітками, у вільному абразиві, тощо;
- хіміко-термічні методи оброблення;
- лазерне термічне оброблення;
- електроіскрове легування;
- нанесення покриттів методами CVD і PVD, тощо.

Але жоден з них не підвищує зазначені характеристики в комплексі.

Зважаючи на широке використання осьового інструменту із швидкорізальної сталі виникає проблема підвищення їх якості. Одним з перспективних напрямків вирішення цієї проблеми є застосування магнітно-абразивного оброблення (МАО), що забезпечує значне підвищення якості інструменту за рахунок одночасного зниження шорсткості та збільшення твердості на його робочих поверхнях, контрольоване формування різальних кромок (РК) заданого радіусу округлення.

Тому вирішення комплексної проблеми підвищення якості різального інструменту є актуальною науковою проблемою і має велике практичне значення.

**Мета роботи:** забезпечення підвищення роботоздатності свердел із швидкорізальної сталі за рахунок зниження шорсткості робочої поверхні інструменту та формування раціональних радіусів округлення різальних кромок шляхом МАО в умовах великих магнітних робочих зон кільцевого типу.



Для досягнення поставленої мети у дисертаційній роботі передбачається вирішення таких задач:

1. Аналіз сучасних методів покращення якості свердел із швидкорізальної сталі.
2. Вибір та обґрунтування застосування технології МАО для підвищення якості свердел із швидкорізальної сталі, та визначення проблем, що мають місце при цьому.
3. Встановити вплив процесу МАО на показники якості свердел при застосуванні МАІ, який сформовано з різних типів магнітно-абразивних порошків.
4. Порівняльний аналіз використання різних МАП при МАО в умовах великих робочих зон на показники якості свердел.
5. Розробка рекомендацій і удосконалення виробничих процесів та сфер застосування процесу МАО свердел із швидкорізальної сталі.

**Об'єкт дослідження** – процес МАО свердел із швидкорізальної сталі.

**Предмет дослідження** – формоутворюючий магнітно-абразивний інструмент та умови МАО для забезпечення необхідних характеристик свердел із швидкорізальної сталі за допомогою МАО.

**Наукова новизна.** Вперше виконані комплексні дослідження процесу МАО свердел із швидкорізальної сталі магнітно-абразивним інструментом, який сформовано з крупнозернистих магнітно-абразивних порошків різних типів за формою та складом. Доведена можливість забезпечення методом МАО підвищення роботоздатності свердел до 2,5 разів при використанні для оброблення даних порошків.

**Практичне значення проведених досліджень.** В роботі вирішено ряд задач з досягнення необхідних параметрів різальної кромки свердла, для отримання більш якісного та продуктивного інструменту. Отримані дані доцільно використовувати при використанні інструменту на підприємствах будь-якої машинобудівної спеціалізації, а також як початок для потенціальних поглиблених

досліджень в цій галузі. Завдяки вирішенні проблеми стійкості осьового інструменту із швидкорізальної сталі на прикладі свердла можливо забезпечити ріст продуктивності виробництва в 1,5-2 рази, що дає споживачу не тільки вигоду в економічному плані, а й якісніший продукт на виході після використання інструменту обробленому за технологією MAO.

Результати роботи використано на ДП «Київський бронетанковий завод». При свердлінні отворів в деталях з сплаву Ст45, свердла після MAO показали підвищену в 1,5-1,9 рази стійкість в порівнянні з інструментом на стадії поставки

# **1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМАТИКИ ТА ШЛЯХІВ ПОКРАЩЕННЯ ПРОЦЕСУ СВЕРДЛІННЯ**

## **1.1 Базові поняття процесу свердління та вплив геометрії свердла при обробленні отворів**

Одним із найбільш важливих факторів технологічного процесу в машинобудуванні являється удосконалення технології виробництва. Особливість сучасного виробництва – використання нових конструкційних матеріалів: жароміцних, корозійностійких, композиційних, порошкових, полімерних і т.д. Оброблення даних матеріалів потребує удосконалення існуючих технологічних процесів і створенні нових методів, оснований на поєднанні механічного, теплового, хімічного і електричного впливу.

Процес різання супроводжується пружними і пластичними деформаціями, руйнуванням матеріалу, тертям, зносом різального інструменту, вібраціями окремих деталей і вузлів технологічної системи. Володіння знаннями закономірностей цих явищ дозволяє вибирати оптимальні умови, які забезпечують продуктивне та якісне оброблення деталей [2].

Процес різання представляє собою комплекс складних явищ, які залежать від фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу, якості різального інструмента, умов різання, стану верстату, жорсткості технологічної системи.

Перші експериментальні дослідження процесу різання металів проведені у Франції по свердлінню отворів в стволах рушниць. Подача свердла виконувалась за допомогою вантажу. В дослідженнях визначалась робота, яка затрачувалась на свердління.

Професором І. А Тіме були проведені в 1868-1869 рр. теоретичні та експериментальні дослідження процесу різання і закладені його наукові основи. Він провів дослідження процесу стружкоутворення, створив схему, навів класифікацію типів стружки, запропонував формули розрахунку сил різання та усадки стружки. Згодом професор П. А. Афанасьєв і академік А.В. Гадолін

запропонували нові рівняння для розрахунку сил різання з урахуванням сил тертя по передній і задній поверхнях різальної кромки [4].

Закономірності оброблення металів різанням розглядаються як результат взаємодії системи верстат – пристосування – інструмент – деталь. Будь-який вид металооброблення характеризується режимами різання, які являють собою сукупність наступних основних елементів: швидкість, глибина різання та подача.

Перспективи подальшого розвитку: інтенсифікація процесів різання, освоєння оброблення нових матеріалів, покращення точності і якості оброблюваних поверхонь, застосування зміцнювальних технологій, автоматизація і механізація процесів оброблення.

При виготовленні більшості деталей необхідно обробляти отвори. Отвори можуть бути як типовими елементами деталі і використовуватись, наприклад, для розміщення кріплення, так і виконуючим поверхнями, по яких відбувається спряження деталей в механізмі, або ж бути каналами для передачі рідин чи газів. Таким чином, в залежності від функціонального призначення вимоги до точності та якості поверхні можуть суттєво відрізнятись. Найбільш важливим параметром, який впливає на вибір технології оброблення отворів, являється відношення довжини (глибини)  $L_{\text{отв}}$  до діаметру  $D$  ( $L_{\text{отв}}/D$ ). В сучасному машинобудуванні прийнято вважати отвори неглибокими, якщо  $L_{\text{отв}}/D \leq 5$ , а глибокими  $L_{\text{отв}}/D \geq 5$ . Для оброблення таких отворів, без обмежень можуть застосовувати усі види свердління та оброблення кінцевим і розточувальним інструментом. Вони застосовуються в залежності від необхідної точності розміру отвору і якості поверхні, яка оброблюється.

Оброблення отворів найчастіше виконують за допомогою стержневих інструментів, так як цей спосіб має високу продуктивність, невеликі вимоги до точності верстатів – точність оброблюваних отворів в основному залежить від точності пристосувань, які використовуються, також немає необхідності в кваліфікованих робітниках[53].

На відмінну від інших процесів різання свердління має свої особливості. А саме:

- різання виконується інструментом, передній кут якого має різне значення в різних точках різальної кромки;
- швидкість різання непостійна і змінюється від нуля в центрі свердла до визначеного максимального значення на периферії. В центрі свердла, під перемичкою, різання саме по собі відсутнє, виконується видавлювання оброблюваного матеріалу до периферії під різальні кромки;
- особливістю геометрії свердла являється наявність п'ятої поперечної різальної кромки;
- стрічка свердла не має допоміжного заднього кута, що викликає підвищене тертя з оброблюваною поверхнею;
- свердло працює в обмежених умовах. Це затрудняє відвід стружки і циркуляцію зовнішнього середовища, що приводить до гірших умов охолодження інструменту.

Свердління і розсвердлювання отворів може виконуватись згідно двох схем[5]:

- а) обертається свердло – деталь нерухома (рис. 1.1);
- б) обертається деталь – свердло нерухоме (рис. 1.2).

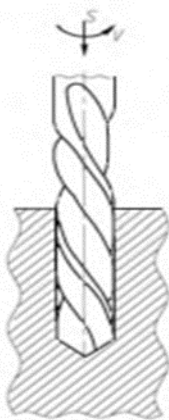


Рис. 1.1. Схема процесу свердління на свердлильному верстаті

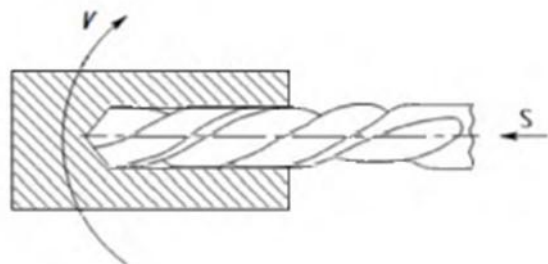


Рис. 1.2. Схема процесу свердління на токарному верстаті

Свердління на свердлильних верстатах виконується при поєднанні обертального руху інструмента навколо осі – головного руху і поступального його переміщення навколо осі – рух подачі (рис. 1.1.).

При свердлінні на токарному верстаті інструмент, закріплюють в пінолі задньої бабки, подають вручну, тільки обертанням маховика. В даному випадку обертовий рух надається самій заготовці, закріпленій в патроні верстату (рис 1.2).

Спиральне свердло (рис. 1.3) складається з робочої частини – 1, шийки – 3 і хвостовика – 2, який може бути як циліндричним так і конічним[9]. Різальна частина 4 свердла має дві головні – 5, дві допоміжні 6 і одну поперечну 7 різальні кромки.

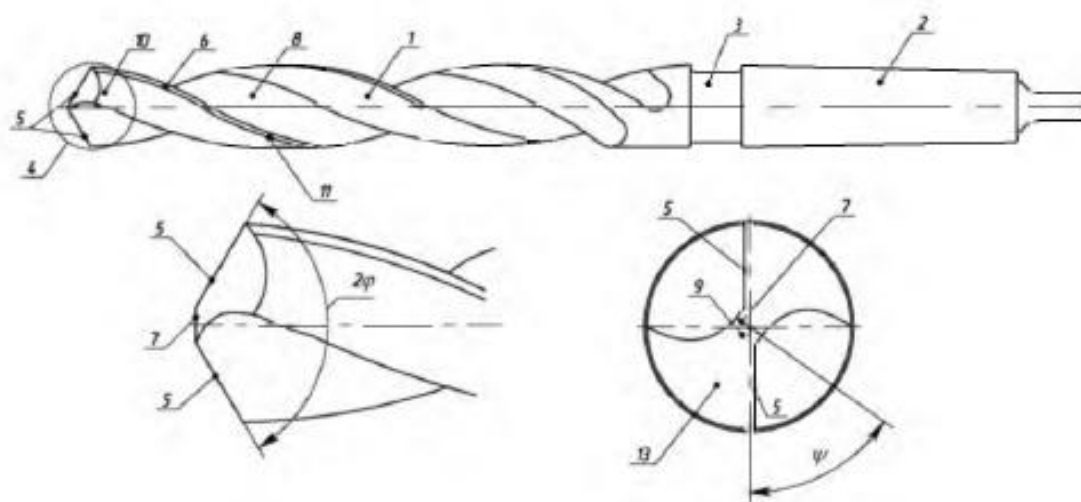


Рис. 1.3 Зовнішній вид спірального свердла

Головні різальні кромки нахилені до осі свердла і утворюють між собою кут в плані  $2\phi$ . Відвід стружки здійснюється завдяки спіральним стружковим канавкам 8, розділених серцевиною – 9. На кожному пері 10 свердла присутня стрічка, яка призначена для направлення свердла під час роботи. Передні поверхні свердла 12 – ділянки канавок, які прилягають до різальних кромок, а осьові передні кути рівні кутам нахилу канавок в даній точці. Задні поверхні 13 утворюються заточуванням, забезпечують потрібні значення задніх кутів  $\alpha$  і можуть бути плоскими, конічними, циліндричними та гвинтовими. Різальну кромку для свердла зазвичай виконують прямолінійну, що полегшує її контроль. Для запобігання тріщин при термообробленні і полегшення відводу стружки профіль канавки повинен мати плавні заокруглення спряжених ділянок. Профіль поперечного перерізу свердла не регламентується. На рисунку 1.4 наведені найбільш поширені профілі поперечних перерізів свердл. На рис. 1.4 а показаний стандартний профіль свердла, недоліки

якого в тому, що його більша частина площі поперечного перерізу розміщена на периферії свердла. Такому профілю притаманний понижений момент опору і понижена жорсткість.

Підвищення жорсткості на кручення може бути досягнуто:

- Створенням у свердлі перемички найбільш можливого розміру і більшої товщини ділянок профілю пер біля серцевини свердла у порівнянні із ділянками біля периферії (рис 1.4, б-з);
- Збільшенням кута  $\omega$  нахилу гвинтових канавок в 1,2..1,8 рази.

Профіль свердла з криволінійною різальною кромкою показаний на рис. 1.4 і за рахунок якої отримують однакові значення кута  $\gamma_n$  вздовж різальної кромки. Профіль свердла з уступами в канавці вздовж різальних кромek, які забезпечують кращі умови, для злому і закручування стружки, що полегшує її відвід із зони різання (рис 1.4, к).

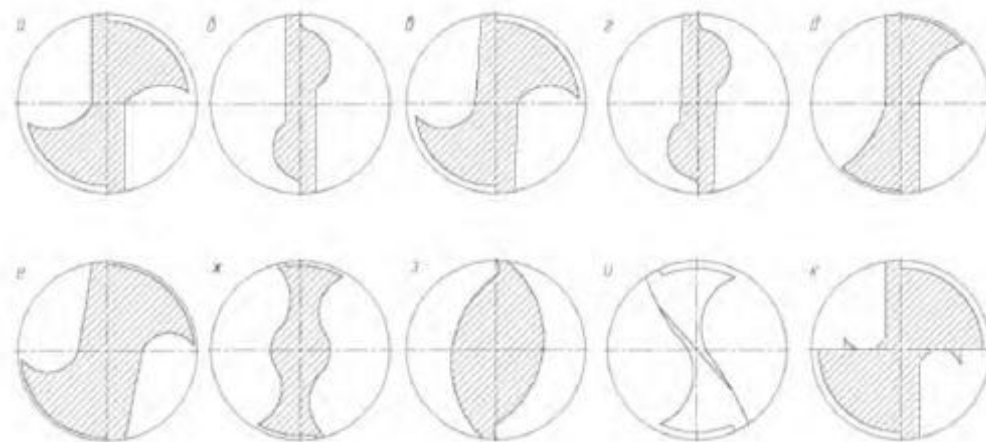


Рис. 1.4 Профілі поперечних перерізів свердел

Таким чином, покращення продуктивності оброблення, залежить, насамперед, від періоду стійкості інструменту, тобто від часу його роботи до затуплення. В першу чергу завдання полягає в тому, щоб вибрати такі оптимальні значення швидкості різання і подачі, щоб забезпечувався, з одної сторони, необхідний період стійкості інструменту, а з іншої – висока продуктивність оброблення і відповідні параметри якості поверхні отвору.

Геометричні і конструктивні параметри різального інструменту в першу чергу впливають на якість отримуваних при свердлінні отворів. До геометричних параметрів, які впливають на якість і точність відносяться: передній кут  $\gamma$ , задній кут  $\alpha$ , кут при вершині свердла  $2\varphi$ , кут нахилу поперечної різальної кромки  $\psi$  і кут нахилу гвинтової канавки  $\omega$ . До конструктивних параметрів відносяться: матеріал складових частин свердла, габаритні розміри, форми заточки свердла і т.д.

Кут нахилу гвинтової канавки  $\omega$  впливає на утворення стружки і її відвід із зони різання, а також на ефективність подачі мастильно-охолоджуючого технологічного середовища (МОТС) в зону різання. Це дає можливість удосконалення осьового інструменту, який використовується для роботи з важкооброблюваними матеріалами, за рахунок збільшення періоду стійкості інструменту і ефективного видалення стружки, так як при ускладненні протікання процесу, стружка піднімаючись по спіральній канавці, негативно впливає на шорсткість обробленого отвору [7].

Величина загострення вершини різальної кромки (РК) дозволяє свердлу краще проникати в метал, і воно працює з відносно меншими зусиллями. Зі зменшенням цього кута, різальна кромка подовжується, завдяки чому відвід тепла покращується, проте у вершині свердла зменшується площа перерізу, спричиняється перегрів і збільшується знос інструменту.

## **1.2 Методи покращення різальної частини свердла**

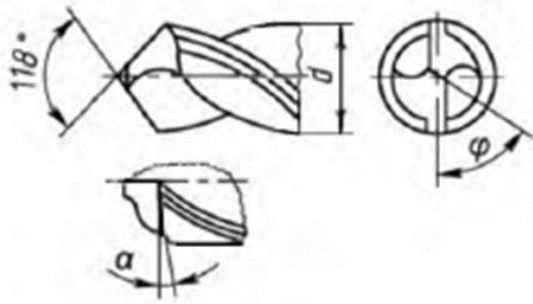
Процес свердління протікає в тяжких умовах різання: відвід стружки ускладнений як і підвід МОТС; виникає значне тертя стружки об оброблену поверхню; вздовж різальної кромки виникає різкий перепад швидкості різання (від максимального значення до нуля) Головний задній кут  $\alpha$  не являється постійною величиною – він збільшується по мірі наближення до центру. Дуже несприятливою являється величина переднього кута на поперечній кромці [6].

У стандартних спіральних свердлах передній кут  $\gamma$  на поперечній кромці набуває значення до мінус  $57^\circ$  -  $60^\circ$ . Зважаючи на це, на поперечній кромці має

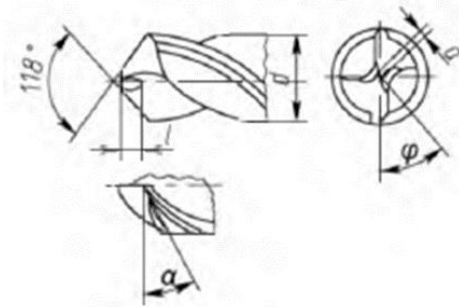


місце видавлювання і викрошування металу. Геометрія такого свердла протирічить основному фундаментальному положенню теорії різання про різальний клин [3].

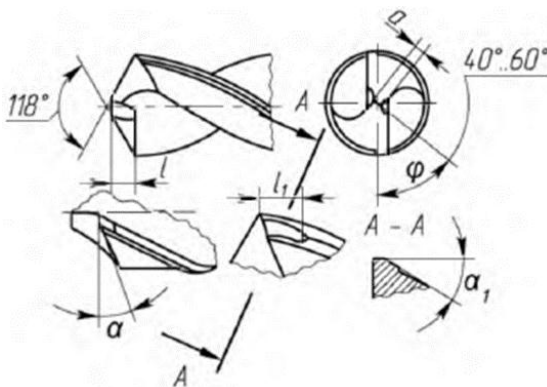
Для покращення умов різання розроблені способи заточки стандартних сверدل і підточки поперечної кромки, а також їх нові і більш прогресивні конструкції [5] (рис. 1.5).



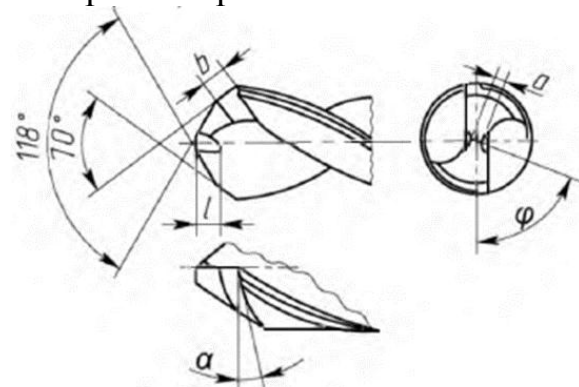
Нормальна заточка без підточки



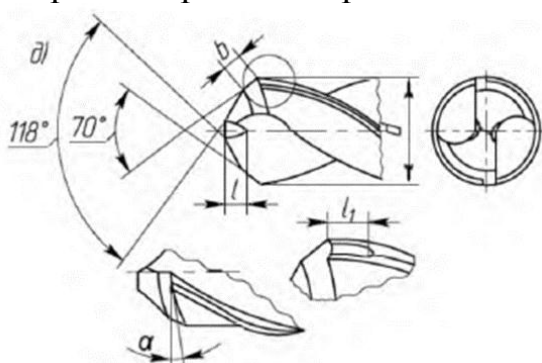
Нормальна заточка з підточкою поперечної кромки



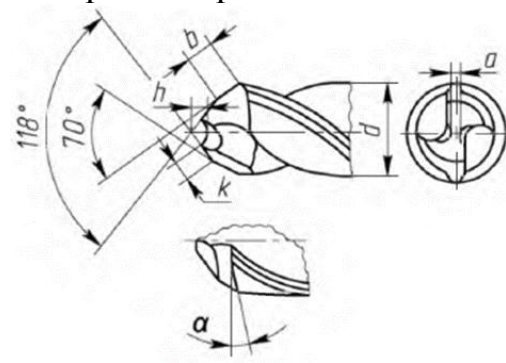
Нормальна заточка з підточкою поперечної кромки і стрічки



Подвійна заточка з підточкою поперечної кромки



Подвійна заточка з підточкою поперечної кромки і стрічки



Подвійна заточка з підточкою поперечної кромки і стрічки

Рис. 1.5 Прогресивні конструкції спіральних свердел

Для зменшення осьового зусилля при свердлінні поперечна кромка прорізається канавкою, але вона залишається на свердлі в зміненому вигляді, з меншими передніми кутами (на кожній з двох половинок поперечних кромки створюється передній кут  $\gamma = 0$ ). Такі свердла добре зарекомендували себе при обробленні чавуну. Збільшення періоду стійкості свердла досягається при використанні заточок по Клемму, Фельдштейну, Менцелю, які передбачають підточку поперечної кромки до 0,1 – 0,2 мм (рис. 1.6).

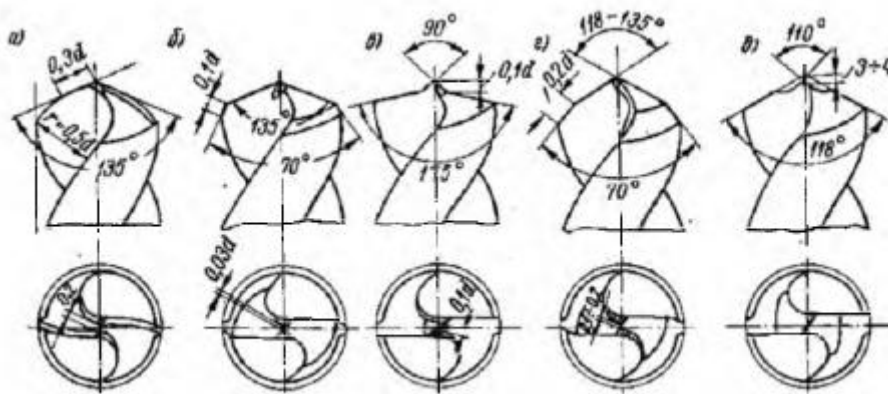


Рис. 1.6 Удосконалені форми заточки свердл

Слід звернути також увагу на спроби створення конструкції безперемичних свердл. Відомі такі конструкції з твердосплавним інструментом, але ідея може бути корисна і для свердл з швидкорізальної сталі. На рис 1.7 а, б зображені безперемичні спіральні свердла конструкціях І.І. Семенченко, П.Р. Родіна, В. І. Магузова, а на рис. 1.7 в, свердло конструкції В.Н. Денисенко [10].

Особливість цих свердел – відсутність кутиків на різальних кромках і рівномірне збільшення кута в плані осі.

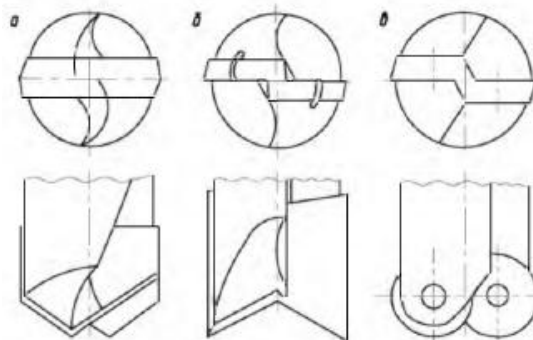


Рис. 1.7 Конструкції свердл без перемички

Фактично поперечна кромка присутня в крайовій області цих свердл, вона співпадає з передніми поверхнями твердосплавних пластин.

Направляюча частина покращує поздовжню стійкість і стабілізацію положення осі свердла в оброблювальному отворі, по ній, як зображено МОТС в зону різання підводиться по гвинтових канавках. Вона включає в себе стрічки і спинки пер.

### 1.3 Аналіз характерних досліджень по визначенню параметрів зрізаного шару та діючих сил різання при свердлінні

У традиційного спірального свердла при обробленні передній кут в різних точках різального леза різний. Швидкість різання непостійна і змінюється від нуля в центрі свердла до визначеного максимального значення на периферії свердла. В центрі отвору під поперечною кромкою свердла, різання як таке відсутнє, проходить видавлювання матеріалу до периферії під різальні кромки, тим самим збільшується температура, погіршується якість оброблення, створюються несприятливі умови різання [8].

Особливістю геометрії свердла і його ж недоліком являється наявність поперечної умовно різальної кромки (рис 1.8).

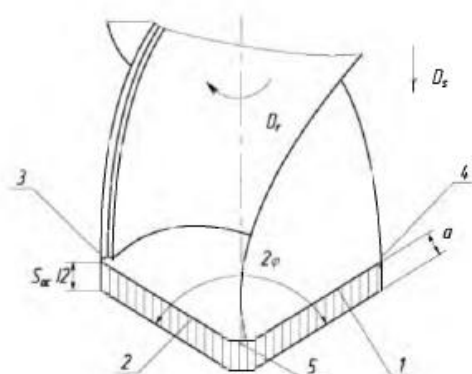


Рис. 1.8 Параметри зрізаного шару при свердлінні отвору стандартним спіральним свердлом з поперечною кромкою.  $D_r$  – головний рух швидкості різання;  $D_s$  – допоміжні рухи подачі,  $D_s = S_{\text{oc}}$ ;  $2\varphi = 120^\circ$  – кут при вершині;

$S_{oc}$  – осьова подача;  $a = (S_{oc}/2)\sin\varphi$ ; 1,2 – головні різальні кромки; 3,4 – допоміжні різальні кромки; 5 – поперечна умовно різальна кромка

На рис. 1.9 показана геометрія спірального стандартного свердла з поперечною кромкою[14]. На головних різальних кромках (нахилених під кутом  $90^\circ - \varphi$  до перпендикулярної осі площини) забезпечені позитивні передні і задні кути, а на поперечній кромці – негативні передні кути. Різальні кромки свердла: 1 – 2, 1' – 2' – дві головні різальні кромки; 1 -3, 1' – 3' – дві допоміжні різальні кромки; 2 -2' – поперечна кромка.

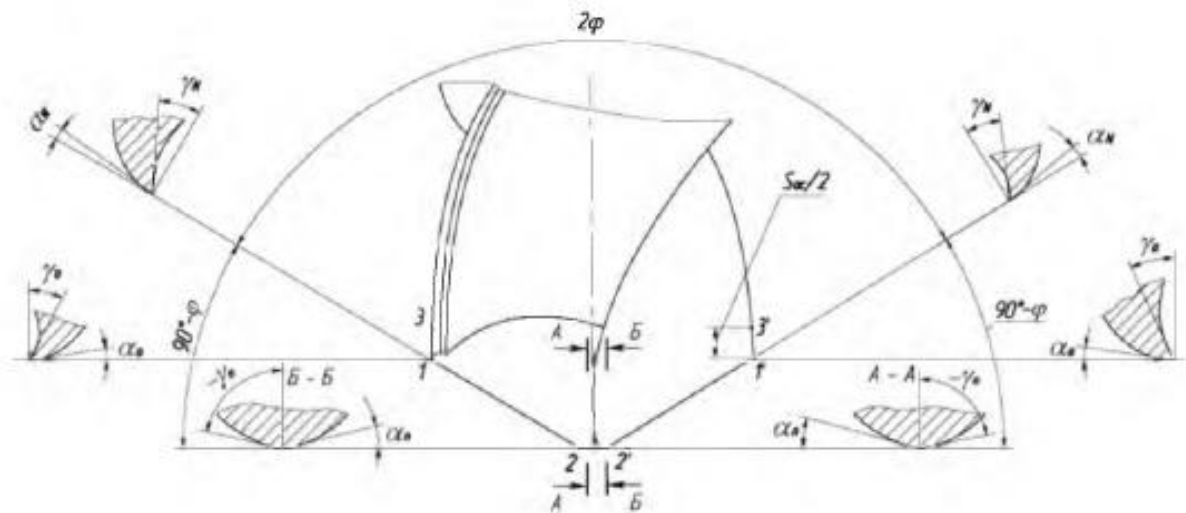


Рис. 1.9 – Геометрія стандартного спірального свердла з поперечною кромкою.

Як показано на рис. 1.9, замість свердління на поперечній кромці має місце видавлювання, підвищена температура. Всі ці фактори погіршують якість оброблення отворів і створюють важкі умови різання.

Проаналізувавши літературні джерела, теоретичні і експериментальні дослідження в області металооброблення при утворенні отворів з'являється ряд проблем:

а) важкі умови різання, наявність поперечної кромки, негативний передній кут, низький період стійкості;

б) найбільш поширеними типами сверدل являються спіральні для утворення отворів в суцільному матеріалі. Всі розглянуті типи сверدل мають недосконалу різальну частину, а саме, поперечну різальну кромку.

в) поперечна кромка створює несприятливі умови різання, які, в свою чергу супроводжують збільшену осьову силу і температуру в зоні різання, більш високий знос.

#### **1.4 Способи вдосконалення різальних кромок інструментів**

При оцінці працездатності та надійності різального інструменту звертати увагу потрібно перш за все на стан, форму, геометрію різальних кромок. Потреба до більш комплексного та якісного підходу при металорізальному обробленні вивела виготовлення інструмента на новий рівень. Ключовими моментами якісної роботи інструмента – є сприятлива мікрогеометрія РІ; форма та розмір округлення різальної кромки (РК), шорсткість поверхні та фізико механічні властивості РІ. Існує декілька методів механічного оброблення для забезпечення необхідних параметрів РК інструменту. Їхня різноманітність та потреба пояснюється різноплановістю задач, які вони вирішують. Найбільш поширені:

- оброблення вільним абразивом;
- магнітно-абразивне оброблення;
- оброблення щітками;
- оброблення струменево-направленим абразивом.

Одним з найбільш простих та доступним методів можна назвати оброблення щітками. При відносному переміщенні, щітки взаємодіють з лезом інструменту і надають йому необхідні характеристики мікрогеометрії РК. Основні параметри при обробленні – час, позиція щітки, кут нахилу щітки, вид абразиву тощо. Цей метод використовують для отримання радіусу РК  $R > 20$  мкм. Існують спеціальні верстати для використання цього методу, такі як BP-M COMBI der Fa. René Gerber або ж BP-Smart.

Спрощена схема обробки та параметри при обробці щітками наведені на рис 1.10

Число обертів, об/хв.	Щітка	300
	Свердло	12
Алмазна паста, [мкм]		2-4
Тип щітки		Кінське волосся (м'який)
Час оброблення, [с]		35, 50, 65

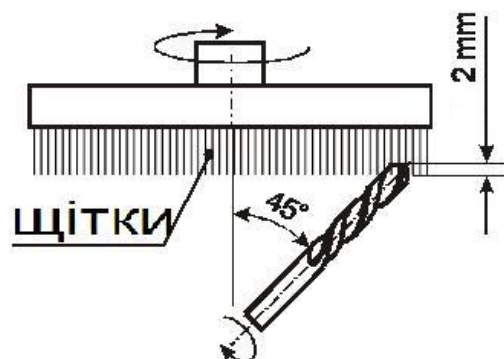


Рис. 1.10 - Параметри при обробленні щітками

Оброблення вільним абразивом схоже з попереднім метод тим, що його також можна віднести до методу обробки геометрично-невизначеним лезом. Полягає він в обертанні шпинделів з нерухомими заготовками у ванні яка наповнена вільним абразивом. Зштовхування і обтікання заготовок у абразиві приводять до зняття матеріалу – шліфування. Цей метод дозволяє отримати радіус РК розміром  $R < 4$  мкм.

Механічне оброблення поверхні свердла методом струминно-абразивного оброблення виконується безпосередньо перед процесом нанесення покриттів. Для оброблення цим методом використовують промислову установку 140-DG. Інструменти обробляються на виробництві з тиском струменя  $p_{st}$  від 700 кПа. У якості інструменту використовується спеціальний пісок зернистість  $d_k = 70 - 110$  мкм. Струменева форсунка розташовується спочатку перпендикулярно до осі свердла. Оброблення виконується упродовж 5 секунд та після цього форсунка повертається безпосередньо на вершину свердла. Оброблення вершини виконується протягом 3 секунд (рис. 1.11). При цьому свердло повертається навколо власної осі. Відстань між форсункою струменя та оброблюваними поверхнями свердла 60-70 мм .



Середовище струменя – пісок спеціальний

Зернистість -  $d_k = 70 - 110$  мкм

Середовище - стиснуте повітря

Тиск струменю -  $p_{st} = 700$  кПа

Відстань від форсунки -  $l_d = 60 - 70$  мм

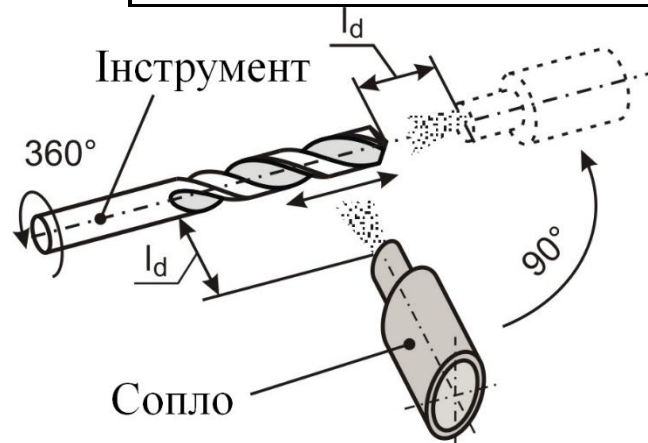


Рис. 1.11 - Параметри та схема відносного розташування сопла та інструмента при струменево-абразивному обробленні

Серед перерахованих методів окреме місце займає МАО (магнітно-абразивне оброблення). Даний метод займає проміжне місце між жорстко закріпленим і обробленням у вільному абразиві. Процес відбувається за дотримання трьох умов [Maib]:

1. Забезпечення рівномірного притискання абразивних зерен до оброблюваних поверхонь.
  2. Наявність достатньої рівномірно розподіленої складової відносного руху елементів МАІ та оброблюваних поверхонь деталей.
  3. Здатність МАІ до переформування та відновлення робочої форми.
- Даний метод являється одним з найперспективніших в плані подальшого розвитку так як відповідні кінематичні схеми дозволяють обробляти деталі складної геометричної форми та виготовлених з різних матеріалів.

Зважаючи на широкий спектр робіт в напрямку покращення значення саме періоду стійкості свердла за допомогою корегування та покращення мікрогеометрії з використанням МАО, подальший аналіз досліджень проведений на базі цього методу.

### 1.5 Поняття МАО. Ідея методу та напрями для розвитку.

МАО – один з методів фінішного оброблення, який застосовується для значного покращення якості заготовок та працездатності деталей (інструменту). Під час цього методу оброблення виконується абразивними феромагнітними зернами – 1 (рис. 1.12), які при дії магнітного поля, утвореного магнітними полюсами 2 формуються в магнітно-абразивний інструмент (МАІ) в робочій зоні ( $A_s$ ). [11]

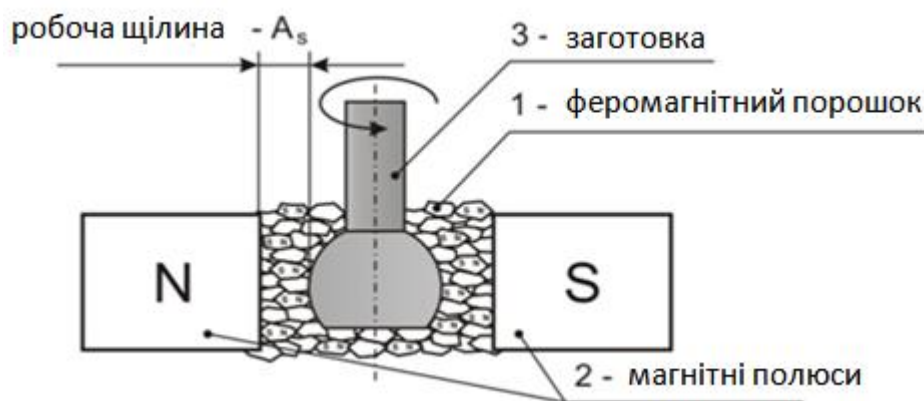


Рис. 1.12 Принципова схема для МАО обертОВО-симетричних заготовок

У зв'язку з відсутністю можливості настроювання постійних магнітів та значенням їхнього діапазону сил значно меншим ніж в електромагнітів, перевагу при використанні цього методу надають останнім.

Магнітно-абразивний інструмент (МАІ) являє собою магнітно-абразивні зерна, в комбінації з енергією магнітного поля від полюсів 2 отримуємо явище нівеляції відносно поверхні заготовки, що обробляється. Це дозволяє виконати оброблення заготовок практично будь-якої форми (залежно від розміру).

Інша схема процесу МАО використовується для фінішного оброблення



складно профільних виробів. У неї магнітна система складається з двох співвісних полюсних наконечників, що утворюють кільцеву робочу зону, яка наповнюється феромагнітним порошком. Оброблення за допомогою цієї установки відбувається в умовах великих магнітних робочих зонах (більше за десятикратну величину частинок порошку, що використовується) по схемі «кільцева ванна».

Оброблювані деталі рухаються в середовищі порошку робочого зазору та створюють ущільнену зону із феромагнітних абразивних порошоків (рис. 1.13) . Величина та характеристика зони визначаються такими характеристиками МАІ як зернистість та форма, коефіцієнт тертя «порошок-порошок» та «порошок-деталь», кут тертя та інші, а також габаритними розмірами робочого зазору та траєкторією руху оброблюваної деталі.[36]

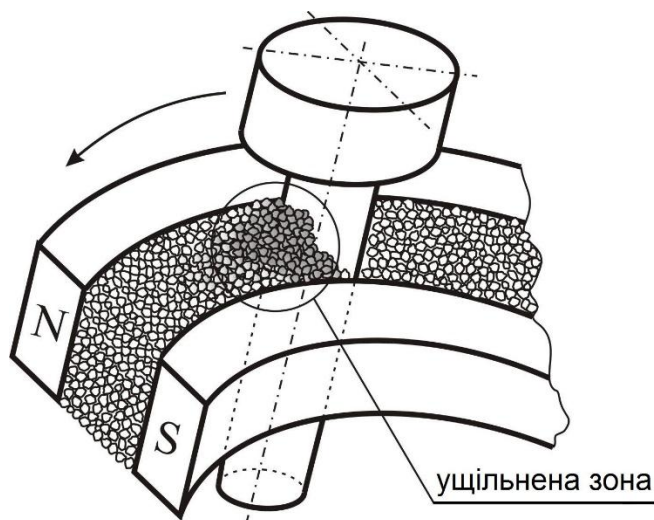


Рис. 1.13 Ущільнена зона із феромагнітних абразивних порошоків при МАО по класичній схемі «кільцева ванна».

При обробленні спіральних свердел процес МАО ускладнюється через канавки, вони заповнюються під час роботи абразивним порошком. Для забезпечення їх ефективного оброблення методом МАО запропоновано розташування інструменту під деяким кутом відносно вектору основного руху - обертання навколо осі кільцевої ванни.

Під магнітно-абразивною обробкою (МАО) розуміють клас способів механічної обробки, які базуються на взаємодії фєроабразивного порошку, сформованого магнітним полем, яке виконує роль віртуальної зв'язки, у порошковий магнітно-абразивний інструмент (МАІ) з поверхнею оброблюваної

деталі з метою надання останній особливих, наперед заданих мікрогеометричних і фізико-механічних властивостей. За своїм впливом на оброблювану поверхню метод МАО можна віднести до фінішних методів механічної обробки.

Роботи Е.Г. Коновалова, Г.С. Шулева - перші фундаментальні розробки в даному напрямку. В них зроблено перші спроби виявити фізичну сутність явищ, які відбуваються під час МАО. Подальшим розвитком методу є роботи Ю.М. Барона, Ф.Ю. Сакулевича, П.І Ящеріцина, М.Я. Скворчевського, В.Д. Ефремова, В.Ю. Олікера, В.С. Майбороди, в яких детально досліджені механізми диспергування матеріалу і зниження шорсткості поверхні під час МАО, в тому числі за рахунок пластичної деформації, зроблені спроби аналізу поведінки сукупності частинок порошку в магнітній щілині, як єдиного цілого інструменту, узагальнено і систематизовано інформацію про матеріали, що використовуються в якості магнітно-абразивних порошків, розроблено підхід до цілеспрямованого формування їх структури і властивостей для обробки конкретних типів матеріалів.

Проаналізувавши напрями досліджень, можна стверджувати, що ефективність МАО при обробленні виробів зводиться до вирішення трьох основних задач, які полягають у визначенні найбільш суттєвих:

- режимів оброблення – величини магнітної індукції в робочих зонах, швидкостей головного руху та подачі, тривалості обробки, тощо;
- схем оброблення, які визначають тип, кінематику та значною мірою конструкцію устаткування, що забезпечує відповідне до форми і вимог до якості обробки деталей відносно переміщення оброблюваної поверхні та порошкового магнітно-абразивного інструменту по заданій траєкторії і з необхідною швидкістю;
- умов формування порошкового магнітно-абразивного інструменту (МАІ), які визначаються і суттєво залежать від типу магнітного поля (стале чи змінне), його топографії в робочих щілинах, яка визначається формою і розмірами робочих зонах, типу магнітно-абразивного порошку, його складу, розміру, форми частинок, магнітних, абразивних, поліруючих і спеціальних властивостей, додатків до МАІ у вигляді твердих і рідинних складових, тощо.

Проведення досліджень в одному (або кількох) із цих трьох напрямів являється ключовою дією на шляху вдосконалення МАО. Особливо це стосується тіл обертання складної форми, до яких відносяться кінцеві інструменти, типовим представником яких є свердла спіральні. Так як це широко-використовуваний інструмент, дослідження МАО на базі свердла являє собою рівнозначно наукове та промислове підґрунтування.

### **1.6 Порошкові матеріали, що використовуються для МАО**

Абразивний порошок, що використовується під час МАО повинен мати феромагнітні властивості для отримання сили врізання зернами та відповідні абразивні властивості. Щоб забезпечити процес зняття матеріалу з поверхні заготовки абразивна складова порошку повинна достатньо міцно поєднуватися із металічною матрицею (в основному Fe)

На сьогодні відомі такі комбінації матеріалів у якості абразивних порошоків для МАО, як Fe-карбіди, Fe-оксиди, Fe-бориди, Fe-діамант та інші [15, 36]. Насправді лише три абразивні порошки можуть бути отримані методом плавки:

- *Чавунний гранулят* – гранульовані шляхом охолодження у воді часточки плавленого сірого чавуну (пісок металевий СП-17, дріб чавунна колота ДЧК);
- *Литі магнітно-абразивні порошки* [43] – отримані шляхом розпилення розплавів із великою місткістю заліза – до 80-85%, з карбідоутворюючими елементами TiC, SiC тощо (Полімам-Т, Полімам-М, Царамам, Ферромап, ПР Р6М5);
- *Феросплави*, що використовують, як легуючі елементи у виробництві сталі, але можуть використовуватися у подрібненому стані як фероабразивні порошки (феротитан, ферокремній).

*Керметні порошкові матеріали* - отримані методами порошкової металургії (Ж15КТ, ПФО Р6М5, МАМ 40 та ін.).

На рис. 1.14 зображені структури МАО, кожна з яких має своє застосування, переваги та недоліки порівняно з іншими. Найкращі властивості проявили керметні порошки (рис 1.14б) та порошки отримані шляхом розпилення розплавів (рис. 1.14г).

а) порошки на основі чавуну або залізних сплавів з мартенситною структурою;  
 б) кермети, у яких тверді часточки (до 30%) рівномірно розподілені у феромагнітній матриці; в) глобулярна структура; г) мартенсит-карбідна структура (розпилення розплаву); д) порошок, у якого феромагнітне зерно покрите одним шаром абразивних компонентів; е) порошок, у якого феромагнітне зерно покрите багаторазовим шаром абразивних компонентів; є) порошок, феромагнітне зерно якого повністю покрите товстим шаром бориду заліза [44].

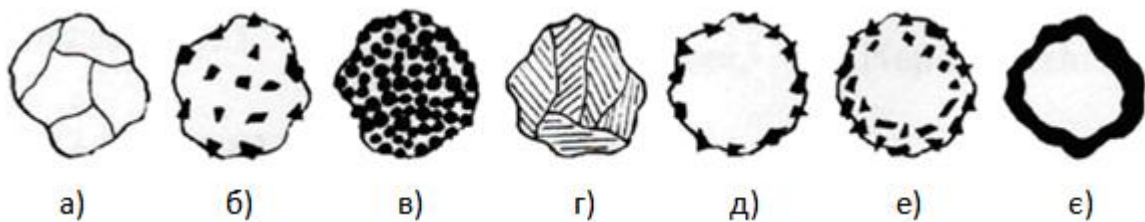


Рис. 1.14 Типи структур порошкових матеріалів

Залежно від вимог до процесу обробки необхідно зважати на такі параметри як розмір зерна, розподіл розміру зерна та його форма, які мають значний вплив на процес МАО

**Розмір зерна:** Розрізняють величину зерна абразиву ( $\delta$ ) та розмір зерна твердих компонентів ( $\lambda$ ), що поєднані із феромагнітною матрицею. Відношення  $\delta/\lambda$  впливає на умови різання, тобто на характер зняття матеріалу (рис. 1.15).

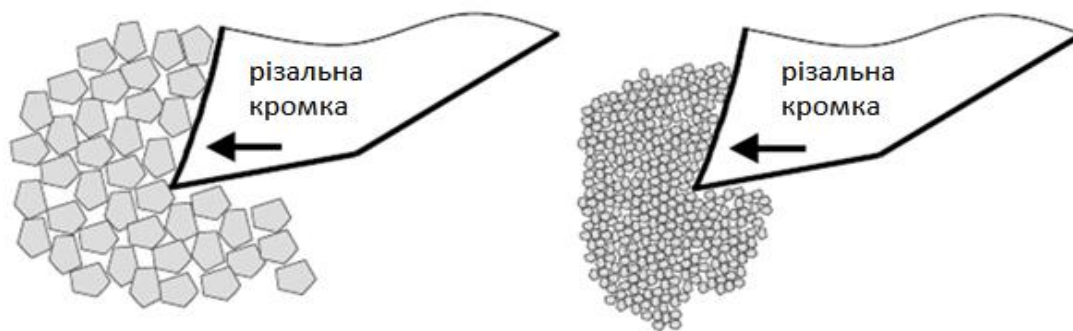


Рис. 1.15 Вигляд зони обробки порошками різного розміру

### 1.7 Вплив магнітно-абразивного оброблення на стан поверхні і властивості поверхневого шару оброблених деталей

Ефективність магніто-абразивного оброблення можна оцінити величиною двох параметрів – питоме масове знімання матеріалу з деталі та величина шорсткості обробленої поверхні при відомій вихідній., особливо методами, що пов'язані з дифузійними процесами.

Вивчення зміни геометричних характеристик поверхні займає значне місце в роботах багатьох дослідників. Результати дослідження еволюції хвилястості і гранчастості поверхні розглянуто в [13, 19, 23, 25]. Залежність шорсткості поверхні від часу оброблення носить, переважно, характер монотонно спадаючої кривої, що більшістю дослідників пояснюється або зміною фізико-хімічних властивостей оброблюваної поверхні (підвищення мікротвердості), або зниженням абразивної здатності МАІ. Мінімально досяжні параметри шорсткості поверхні після МАО характеризуються значеннями  $Ra = 0,02 \div 0,32$  мкм в залежності від схеми обробки, попередньої шорсткості, геометрії і матеріалу виробу, технологічної спадковості, тощо. Відмічається значне зростання величини опорної поверхні профілю [29, 36]. Зазначені результати, як і наведені раніше одержано при МАО феромагнітних деталей в умовах малих робочих зон. Аналіз відомої інформації дозволяє зробити висновок, що основне місце МАО для вказаних умов оброблення - це фінішні операції виготовлення деталей, на яких необхідно зниження шорсткості поверхні і деяке виправлення окремих елементів геометрії деталей без зміни розмірів.

Вплив процесу магнітно-абразивного оброблення на зносостійкість, мікротвердість і корозійну стійкість досліджено у [37, 51, 32, 28], на контактну міцність і наклеп - у [27], на розподіл напружень першого і другого роду і структуру матеріалу - у [28, 46]. У цих роботах експлуатаційні і фізико-механічні характеристики вивчалися на циліндричних зразках, виготовлених з сталі 45 і з сталі ШХ-15. Встановлено, що в результаті магнітно-абразивної обробки в поверхневому шарі виникають залишкові стискаючі напруження величиною 100-140 МПа і глибиною залягання 3-12 мкм [50], що знаходяться у прямій залежності від величини магнітної індукції і часу оброблення [26] і зростають при збільшенні зернистості порошку магнітного абразиву [5, 32]. Оброблення хромистих сталей типу 20Х дозволяє одержати залишкові стискаючі напруження величиною 150-250 МПа на глибині 6÷12 мкм від поверхні деталей, із значним їх збільшенням до величини 500-780 МПа при зменшенні глибини до 1-3 мкм на [39] .

Порівняння магнітно-абразивного оброблення з алмазним вигладжуванням і тонким шліфуванням виконано в дослідженнях [42, 43]. Відзначається значне підвищення зносостійкості деталей, що піддаються тертю. Так, після МАО деталей з сталі 40Х, що експлуатуються в умовах тертя, в період їх припрацювання, величина зносу знизилася з 2,5-2,8 мкм до 0,7-1,0 мкм [28].

У роботі [40] досліджувався вплив різних технологічних факторів магнітно-абразивного оброблення на зміну характеристик шорсткості, мікротвердості і залишкових напружень поверхневого шару деталей зі сталей 30ХГСА, У8А, ШХ15, ХВГ, 12ХНЗА. Встановлено, що в поверхневому шарі створюються залишкові напруження стискання від 600 до 1500 МПа на глибині до 2 мкм, причому їхнє формування визначається, перш за все, дією технологічної спадковості у вигляді висоти мікронерівностей вихідної поверхні, а також залежить від зернистості порошку і магнітної індукції.

До основних недоліків наведених результатів досліджень напруженого стану поверхневого шару деталей після МАО варто віднести те, що їх отримано, в більшості випадків, з використанням рентгенівських методів, які не дають можливості визначати рівень залишкових напружень на великих глибинах (>10-15

мкм).

На підставі вивчення величини і глибини зміни мікротвердості поверхневого шару, залишкових напружень і аналізу конструкційних і інструментальних сталей, підданих магнітно-абразивному обробленню, розкрито відношення зміни досліджуваних параметрів від технологічних факторів [12, 46, 24]. У роботі [48] дослідження залишкових напружень на поверхневому шарі кульок діаметром 12,8 мм з сталі ШХ15 після МАО свідчать про збереження стану напружень (стискаючі); при цьому спостерігається їх деяке зниження в межах 1-7%. Зміну знаку залишкових напружень з позитивного (розтискаючі) на негативний (стискаючі) при доведенні сталевих інструментів описано в [39,23,19]. Встановлено, що причиною виникнення стискаючих напружень є пластичні деформації тонкого шару [33]. При цьому відбувається підвищення зносостійкості в порівнянні з тонким шліфуванням. і поліруванням [37] . Вплив режимів магнітно-абразивного полірування в сполученні з іншими видами оброблення на залишкові напруження і міцність втомі лопаток з сплаву ВТЗ-1 вивчалось в [39, 41]. Показано, що має сенс в технологічному процесі виготовлення лопаток, трудомісткі процеси по зміцненню замінити магнітно-абразивним поліруванням.

Питанню про механізм виникнення змін напруженого стану поверхневого шару в деталях, підданих МАО, присвячені роботи, виконані під керівництвом Барона Ю.М. Так у [43] зазначено, що збільшення твердості зразків відповідає величині залишкових напружень, створюваних дислокаціями, що виникають від механічного впливу зерен магнітно-абразивного порошку на поверхню зразків. У [35] зміну напруженого стану поверхневого шару у швидкорізальних сталях пов'язано з аустенітними перетвореннями.

Значна зміна структури металу, твердості та величини власних напружень оброблених поверхонь була зафіксована рядом досліджень [11, 22, 35, 37, 46, 49, 53]. Процеси МАО характеризуються виникаючим тертям та змінними ударними навантаженнями між МАІ та оброблюваною поверхнею [47], можливо, шляхом вибору певних параметрів обробки може спостерігатися або зняття мікростружки, або мікропластичне деформування поверхневого шару (зміцнення) [19, 29, 34].

Було доведено зміцнення поверхневого шару загартованої сталі на  $\sigma = -800 \div -1400$  МПа шляхом МАО під час досліджень [37], при чому величина власних навантажень після шліфування була рівна  $\sigma = +200 \div +300$  МПа. У швидкорізальних сталей після МАО формуються напруження стискання, величина яких  $\sigma = -600 \div -1200$  МПа, на глибині рівній  $0,5 \div 1,0$  мкм.

МАО легованих хромом сталей дозволяє отримати внутрішні залишкові напруження величиною  $\sigma = -150 \div -250$  МПа на глибині  $6 \div 12$  мкм. Максимальна інтенсивність навантажень стискання після МАО зустрічається на глибині  $\geq 2$  мкм. Ці дані були отримані внаслідок досліджень зміни величини власних навантажень залежно від глибини їх залягання під поверхневим шаром [46].

### **1.8 Вплив магнітного поля на оброблювану поверхню.**

Механічні властивості обробленої поверхні так піддаються сильному впливу магнітного поля під час МАО [35, 12, 43, 23, 30]. У дослідженнях [22] впливу магнітного поля на рівень власних напружень у поверхневій зоні нелегованої сталі, була зафіксована зміна напружень розтягу  $\sigma = +200 \div +300$  МПа на напруження стискання рівних  $\sigma = -100 \div -200$  МПа після МАО. Перемагнічення обох проб призвело до зростання напружень стискання на глибині  $1,5$  мкм. Їх значення на глибині  $0,5$  мкм склало  $\sigma = -600 \div -700$  МПа.

### **1.9 Якість обробленої поверхні**

Головний вплив МАО на оброблювану поверхню проявляється у більшості випадків саме у полірувальній або згладжувальній дії [11, 15, 26, 35, 36, 43, 51,]. Залежно від кінематики процесу, початкової шорсткості та матеріалу заготовки мінімальне значення параметру шорсткості  $R_a$ , яке можна отримати після МАО лежить між  $0,02$  та  $0,32$  мкм.

Коли говорять про залежність між шорсткістю та часом оброблення то це насамперед пов'язано із збільшенням мікротвердості поверхні внаслідок оброблення [16].

Систематичні дослідження в цьому напрямку виконано Ю.М.Бароном [13].



Аналіз отриманої шорсткості після звичайного шліфування внутрішніх кілець підшипників та їх МАО. Встановлено покращення шорсткості з  $Ra=0,4$  мкм після шліфування до  $Ra=0,03$  мкм після МАО. При цьому також була покращена мікрохвилястість на 50%. А тому, що під час МАО збільшується округлість вершинок профілю шорсткості, збільшується також і значення параметра опорної поверхні  $t_p$  на 60% (після звичайного шліфування  $t_p \leq 50\%$ ) [34, 23, 45, 28].

В роботах Майбороди В.С.[37] виконано систематичні дослідження впливу МАО свердел в умовах великих магнітних щілин при їх кільцевому розташуванні на їх працездатність. Доведено, що процес МАО забезпечує підвищення працездатності різального інструменту більше чим у 1,8-2 рази, є бажаною технологічною операцією перед процесом нанесення спеціальних покриттів методом PVD і хіміко-термічною обробкою, а також в якості фінішної поліруючо-зміцнюючої операції після нанесення покриттів.

У дослідженнях [43], що займався магнітно-абразивною обробкою свердел із швидкорізальної сталі, було зафіксовано майже трьохкратне зменшення шорсткості  $Ra$  вже після 60 сек. оброблення у кільцевій ванні у свердел діаметром 6,8 мм. (рис. 1.16).

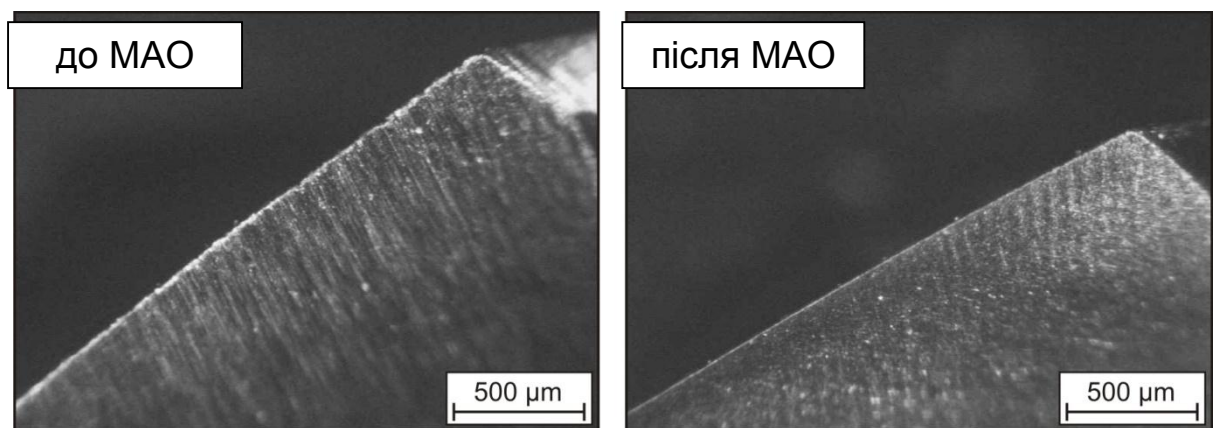


Рис. 1.16 Різальна кромка свердла  $D=6,8$  мм до та після МАО

Було проведено дослідження впливу МАО на фаску свердла на периферії різальної кромки [12] і характер притуплення перемички свердел. Показано, що найперспективнішим методом магнітно-абразивного оброблення кінцевого

різального інструменту є оброблення в умовах великих робочих зон, слабких магнітних полів на установках за схемою кільцева ванна. Проте відносно мало уваги приділялось процесам, що призводять до формування і полірування різальних кромek інструменту.

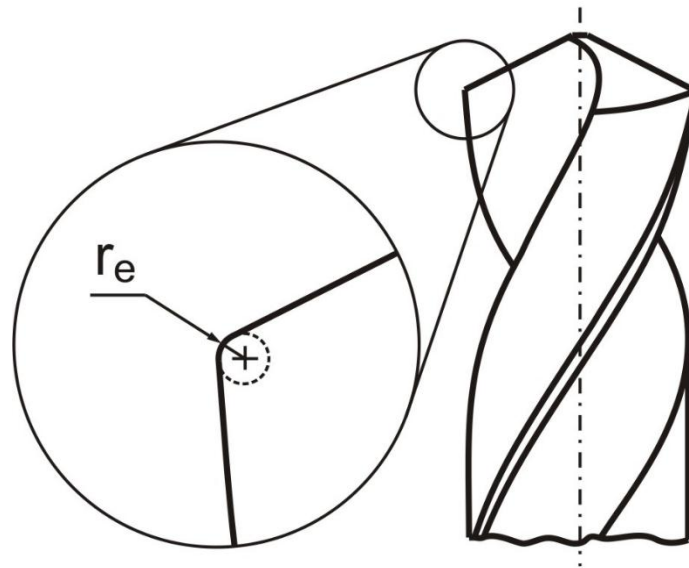


Рис. 1.17 Радіус кутка свердла

Отже, підводячи підсумок, прийнято рішення використати технологію магнітно-абразивного оброблення свердел як найбільш ефективну та прогресивну з наявних та доступних. При цьому враховуючи особливості процесу MAO необхідно дослідити питання зміни якісних характеристик свердел при використанні різних МАП. За необхідності внести зміни в режими MAO або режими різання досліджень, які будуть проведені. Перед експериментом, необхідно визначити початкові характеристики свердла і ті, які отримали після використання MAO.

**Мета роботи:** забезпечення підвищення роботоздатності свердел із швидкорізальної сталі за рахунок зниження шорсткості робочої поверхні інструменту та формування раціональних радіусів округлення різальних кромek шляхом MAO в умовах великих магнітних робочих зон кільцевого типу.

Для досягнення поставленої мети у дисертаційній роботі передбачається вирішення таких задач:

6. Аналіз сучасних методів покращення якості свердел із швидкорізальної сталі.
7. Вибір та обґрунтування застосування технології МАО для підвищення якості свердел із швидкорізальної сталі, та визначення проблем, що мають місце при цьому.
8. Встановити вплив процесу МАО на показники якості свердел при застосуванні МАІ, який сформовано з різних типів магнітно-абразивних порошків.
9. Порівняльний аналіз використання різних МАП при МАО в умовах великих робочих зон на показники якості свердел.
10. Розробка рекомендацій і удосконалення виробничих процесів та сфер застосування процесу МАО свердел із швидкорізальної сталі.

**Об'єкт дослідження** – процес МАО свердел із швидкорізальної сталі.

**Предмет дослідження** – формоутворюючий магнітно-абразивний інструмент та умови МАО для забезпечення необхідних характеристик свердел із швидкорізальної сталі за допомогою МАО.

**Наукова новизна.** Вперше виконані комплексні дослідження процесу МАО свердел із швидкорізальної сталі магнітно-абразивним інструментом, який сформовано з крупнозернистих магнітно-абразивних порошків різних типів за формою та складом. Доведена можливість забезпечення методом МАО підвищення роботоздатності свердел до 2,5 разів при використанні для оброблення даних порошків.

**Практичне значення проведених досліджень.** В роботі вирішено ряд задач з досягнення необхідних параметрів різальної кромки свердла, для отримання більш якісного та продуктивного інструменту. Отримані дані доцільно використовувати при використанні інструменту на підприємствах будь-якої машинобудівної спеціалізації, а також як початок для потенціальних поглиблених

досліджень в цій галузі. Завдяки вирішенні проблеми стійкості осьового інструменту із швидкорізальної сталі на прикладі свердла можливо забезпечити ріст продуктивності виробництва в 1,5-2 рази, що дає споживачу не тільки вигоду в економічному плані, а й якісніший продукт на виході після використання інструменту обробленому за технологією МАО.

Результати роботи використано на ДП «Київський бронетанковий завод». При свердлінні отворів в деталях з сплаву Ст45, свердла після МАО показали підвищену в 1,5-1,9 рази стійкість в порівнянні з інструментом на стадії поставки

## 2 ОБЛАДНАННЯ МАТЕРІАЛИ, МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Характеристика і хімічний склад матеріалу оброблюваних свердел

Досліджування виконували на свердлах короткої серії діаметром 10 мм,  $l_1 = 89$  мм,  $l_2 = 42$  мм, виготовлених з сталі Р6М5К5 зовнішній вид представлений на рисунок 2.1. Дані свердла використовуюся для утворення отворів на деталях виготовлених для жароміцних сталях, титанових сплавів, високолегованих, нержавіючих сталей та ін.

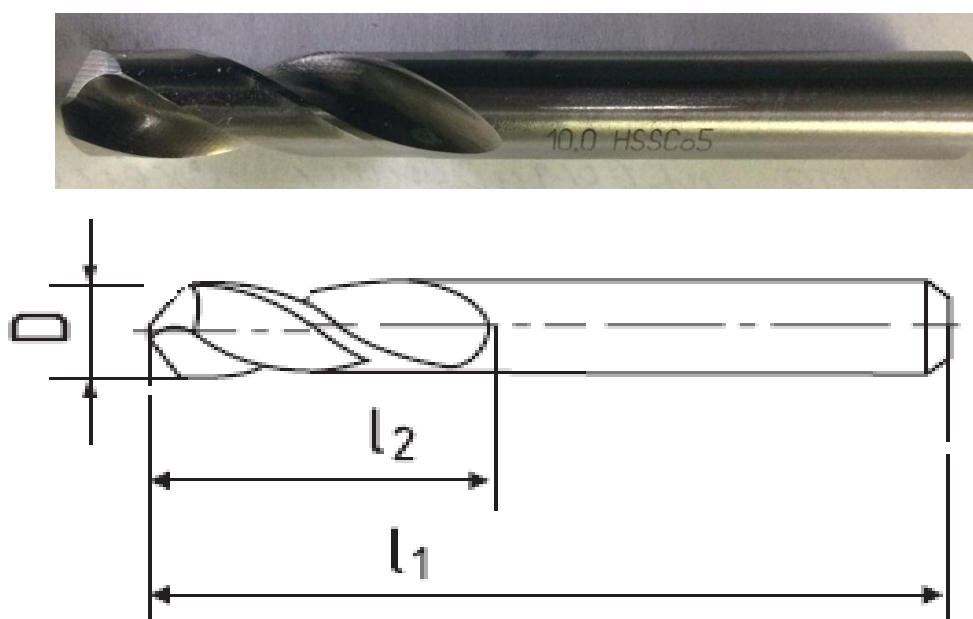


Рис. 2.1 Зовнішній вид свердла

Сталь типу Р6М5К5 є однією з найбільш поширеніших для виготовлення осьового, кінцевого, різьбонарізного РІ, яким обробляють вуглецеві, леговані та конструкційні сталі, а також інструменту, який працює з ударними навантаженнями, які мають підвищену, як міцність, так і стійкість. Молібден обумовлює меншу карбідну неоднорідність, ніж вольфрам, внаслідок чого, заміна 6-10% вольфрама на ту ж кількість молібдена знижує карбідну неоднорідність швидкорізальних сталей приблизно на 2 бали і відповідно підвищує пластичність.

Основний недолік швидкорізальних сталей – підвищена чутливість до нестачі вуглецю.

Хімічний склад сталі Р6М5К5 наведено в таблиці.2.1 [ГОСТ 19265-73]

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталі Р6М5К5

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	W	V	Co
0.86 - 0.94	До 0.5	До 0.5	До 0.6	до 0.03	до 0.03	3.8 - 4.3	4.8 - 5.3	5.7 - 6.7	1.7 - 2.1	4.7-5.2

## **2.2 Вимірювання шорсткості поверхні та радіусів заокруглення різальних кромок**

Вимірювання шорсткості поверхні та радіусів округлення проводились на спеціальному модулі для вимірювання фасонних поверхонь (рис. 2.2) зібраного на основі профілометра мод. 296.

Досліджувана поверхня ощупується алмазною голкою з малим радіусом округлення і механічні коливання щупа, які при цьому виникають, перетворюються в електричний сигнал, пропорційний цим коливанням.

Датчик 1 відповідає за перетворення лінійних коливань голки, які відповідають профілю поверхні, в електричні сигнали. Переміщення датчика 1 по поверхні зразка 5, який лежить на столику-призмі 4, здійснюється приводом 2, живлення якого здійснюється з допомогою блока живлення 14 через блок “генератор-модулятор”. Привод 2 встановлюється на стійці 3. Блок спряження 15 складається з фільтру низьких частот 8 типу RC і підсилювача 9. Фільтр призначено для виділення сигналу в діапазоні 0... 250Гц. Сигнал з блока спряження поступає на аналого-цифровий перетворювач (АЦП), встановлений в блоці 12 електронно-обчислювальної машини (ЕОМ). Керування процесом здійснюється через шину 13, яка з’єднує привод з АЦП через роз’єм 10.

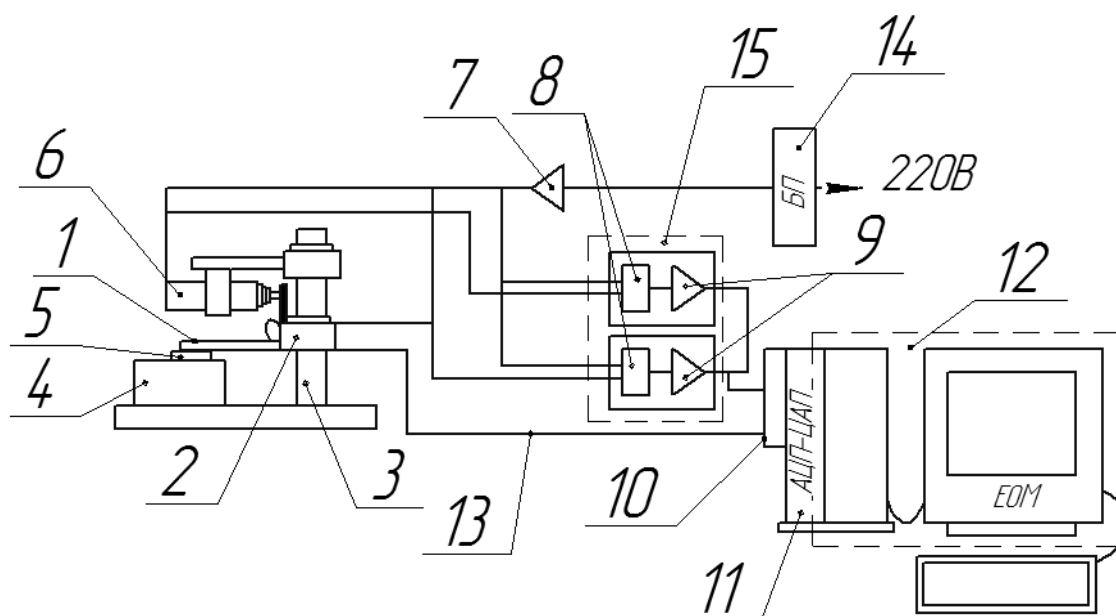


Рис. 2.2 – Блок-схема модуля для вимірювання фасонних профілів

У модулі присутні функції запису та оброблення сигналу, також є можливість порівняння профілю поверхні з існуючою моделлю або з даними, отриманими за допомогою інших засобів вимірювання. Необхідні характеристики поверхні визначаються за допомогою спеціально розроблених методів та прикладних програм.

Точність вимірювання модуля – 0,001 мм (радіус заокруглення алмазної голки – 0,01 мм), яка отримується при застосуванні додаткового математичного апарату.

Вимірювання радіусів округлення різальних кромek і шорсткості свердла проводилося в декілька етапів.

Перед вимірюваннями необхідно провести тарування величини вертикальних та горизонтальних переміщень алмазної голки, тобто визначаються масштабні коефіцієнти по осях. Тарування вертикальних переміщень проводиться на всьому вимірюваному діапазоні по набору плоскопаралельних кінцевих мір довжини. Тарування горизонтальних переміщень проводиться на всій вимірюваній довжині переміщення датчика за допомогою повіреної лінійки, а для більш точного тарування використовується еталонна міра шорсткості з регулярним мікропрофілем [24].

Модуль з пристосуванням для вимірювання шорсткості і радіусів свердел

показано на рис. 2.3.



Рис. 2.3 Модуль для вимірювання фасонних профілів

Далі проводяться вимірювання профілю, результати якого, за допомогою масштабних коефіцієнтів, приводяться до метричної системи координат деталі.

Оброблення результатів вимірювання може проводитися в різноманітних системах, наприклад, MathCad та MatLab. Для оброблення даних використовувався пакет MathCad. При обробленні результатів вимірюваний профіль розбивається на елементарні поверхні - прямолінійні та криволінійні та визначаються точки прив'язки до системи координат деталі. За допомогою спеціально розробленого математичного апарату визначаються похибки, які складають 10-12%.

### **2.3 Вимірювання поверхневої твердості**

Дослідження поверхневої твердості свердел із швидкорізальної сталі виконували на мікротвердомірі ПМТ-3 рис. 2.4, 2.5.

Технічні характеристики мікротвердоміру ПМТ-3:



- збільшення мікроскопу – 138 та 520;
- межі координатного переміщення предметного столику у двох взаємно перпендикулярних напрямках, мм – від 0 до 10;
- ціна поділки шкал барабанчиків мікрометричних гвинтів координатного переміщення, мм – 0,01.

Визначення поверхневої свердел із швидкорізальної сталі проводилося на стрічці. Навантаження на інденторі складало 2Н, вимірювання виконували не менше трьох разів при зазначеному навантаженні на глибині 2.8 мкм. Після навантаження на поверхні свердла залишається відбиток від алмазної пірамідки (рис. 2.6). Значення довжини діагоналі відбитка дозволяє розрахувати твердість поверхневого шару.



Рис. 2.4 Мікротвердомір ПМТ-3

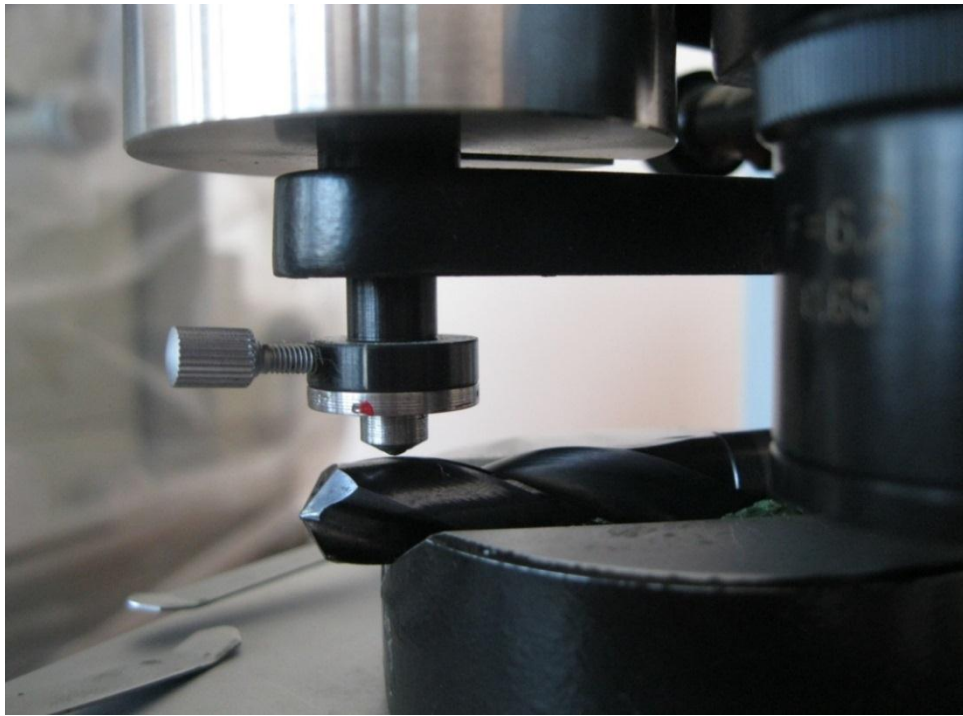


Рис. 2.5 вимірювання поверхневої твердості свердел із швидкорізальної сталі

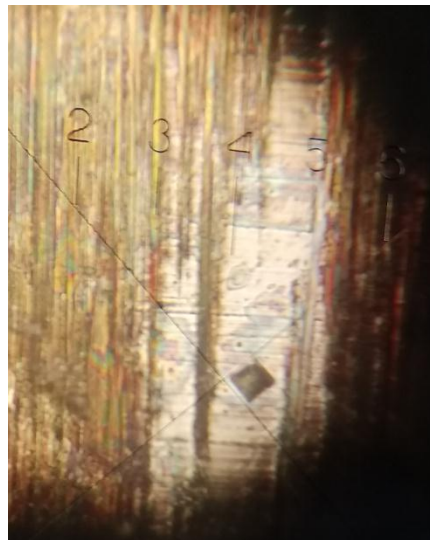


Рис. 2.6 Відбиток алмазної пірамідки

Позиції вимірювання схематично показані на рис. 2.7.



Рис. 2.7 Позиції вимірювання поверхневої твердості

Значення поверхневої твердості визначали по формулі (2.1)

$$P = \frac{1.854 \times N}{(d \times c)^2} \times 1000 (2.1)$$

де  $P$  – поверхнева твердість, ГПа;

$d$  – середня довжина діагоналі відбитка, поділки шкал;

$c$  – перерахунковий коефіцієнт ПМТ-3.

Відносну похибку з деяким наближенням вважають рівною половині ділення шкали барабанчика ПМТ-3, що виражається в одиницях поверхневої твердості  $\pm(0,5 \text{ ГПа})$ .

## 2.4 Обладнання для магнітно-абразивного оброблення

Оброблення деталей складної просторової форми, до яких можна віднести осьовий різальний інструмент виконується в магнітних зонах великої ширини, в яких досягнення високих значень магнітної індукції пов'язано з технічними труднощами і значними енергетичними витратами. В процесі МАО деталей з подовжніми або гвинтовими канавками відбувається заповнення об'єму останніх фероабразивним порошком, який, притискаючись до поверхні пазів (особливо деталей із феромагнітних матеріалів), створює тіньові зони, залишаючись при обробленні в мало рухливому стані. Тобто невиконується одна з умов МАО – наявність достатньої швидкості відносного переміщення абразиву по оброблюваній поверхні. У результаті процес МАО проходить нерівномірно.

У роботах [35, 36, 26] показано, що найбільш прийнятною для МАО деталей складної просторової форми типу свердел є схема типу кільцева ванна з використанням робочих зон значної ширини [38, 48]. Саме така схема поєднує в собі переваги МАО, які дозволяють варіювати жорсткістю МАІ і методів струминно-абразивної обробки, яка забезпечує спроможність робочого середовища “обтікати” оброблювані профілі і здійснювати зміцнення поверхні за рахунок ударної взаємодії частинок середовища з поверхню деталей.

МАО свердел, здійснювалось на верстаті з установкою типу кільцева ванна (рис.2.8), який забезпечує обертання деталей навколо власної осі, осі кільцевої ванни (2) і переміщення вздовж вертикальної осі.

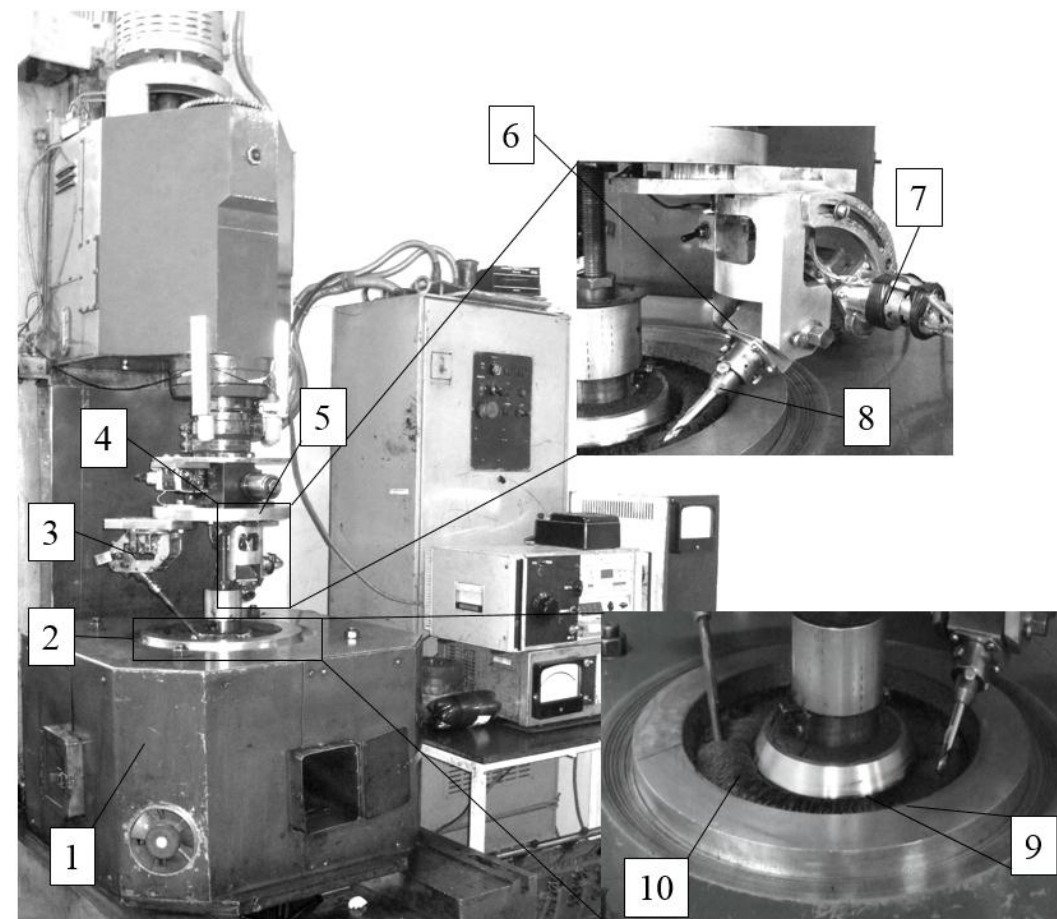


Рис. 2.8 Універсальна магнітно-абразивна установка типу кільцева ванна

Налагодження універсальної магнітно-абразивної установки типу кільцева ванна здійснювалось в декілька кроків. Універсальна головка 4 встановлюється в шпинделі верстата таким чином, щоб її вертикальна вісь співпадала з віссю кільцевої магнітної системи 1 і шпинделя верстата, і являє собою базову плиту 5 на якій з одного боку закріплюється з можливістю повороту навколо вертикальної осі пристрій повороту інструмента відносно площини обертання (площини кільцевої ванни 2).

В пристрої встановлено мінішпиндель 3 у який вставляється оправка 8, в якій закріплюється оброблюваний інструмент 8. Інструмент 8 має можливість вільно обертатися навколо власної осі і осі мінішпинделя 3. З протилежного від місця кріплення інструменту боку на осі мінішпинделя 3 встановлено редуктор, який через гнучкий вал з'єднано з двигуном постійного струму 7. Двигун 7 отримує електроенергію через контакти, які на рис. 2.8 показані в неробочому стані. В робочому стані контакти прижимаються до мідних кілець, які передають

електричний струм через електропроводи на двигун 7. Двигун постійного струму з редуктором забезпечують обертання оброблюваного осьового інструменту навколо власної осі з частотою  $0.01-0,1\text{с}^{-1}$ . В процесі МАО оброблювальний інструмент обертається навколо власної осі, рівнобіжної осі кільцевої ванни і навколо осі кільцевої ванни. Поворот осі інструменту на деякий кут відносно осі кільцевої ванни, і розташування його в площині, сформованій віссю інструменту і дотичною до середньої лінії кільцевої ванни, показав, що найкращі результати – рівномірна на усіх передніх і задніх різальних поверхнях обробка і мінімальна шорсткість отримані для кутів повороту  $45^\circ$ . Також проводиться поворот технічної наладки 3(рис.2.8) разом із свердлом на кут  $10^\circ$  утворений поворотом площини, яка проходить через вісь свердла і перпендикулярної осі кільцевої ванни 1. Після МАО на поверхні інструмента наявне повне видалення мікрозадирок на різальних кромках і відсутність мікроконцентраторів напружень у вигляді виривів матеріалу, вибоїн і подряпин, отриманих на операції шліфування.

Головна проблема при обробленні свердел на МАО – збереження зворотної конусності свердел. Особливо ця проблема виникає при обробці свердел на стікання, оскільки при цьому проходить опускання МАІ і в результаті цього обробка проводиться не всієї робочої частини свердла. І хоча при обробці проходить знімання матеріалу на мікрорівні, це все ж таки зможе причинити втрату оборотної конусності і як результат заклинювання свердла при обробленні. Для запобігання даної проблеми, а також для збереження МАІ в робочому стані був використаний підйомник 6 (рис.2.8), який закріплюється в оправці встановленій в шпінелі технічної наладки 7. Підйомник повинен бути опущений нижче оброблюваного інструмента для ефективного підтримування МАІ в робочому стані.

Оброблення можливо виконувати при різних режимах – в умовах «стікання» (рисунок 2.10) та «натікання» (рисунок 2.11) феромагнітного середовища з поверхонь деталей.

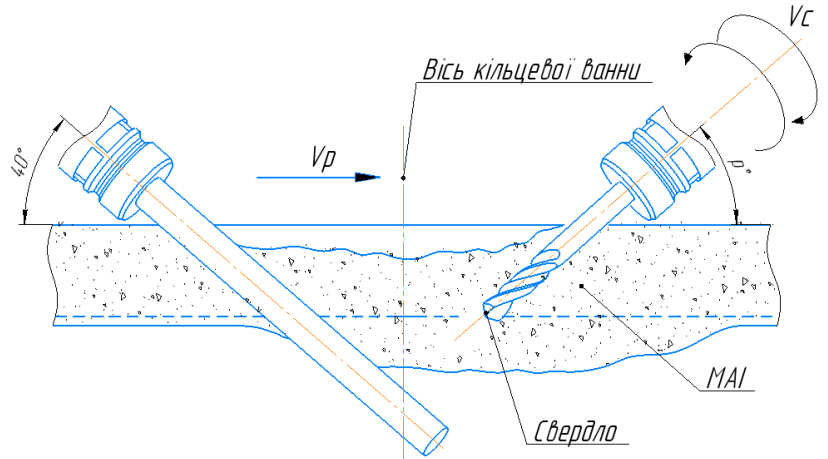


Рис. 2.10 Схема оброблення при «стіканні» магнітного середовища

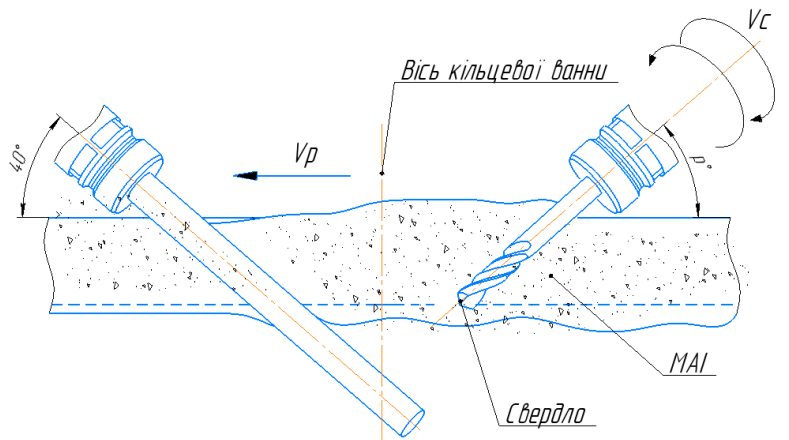
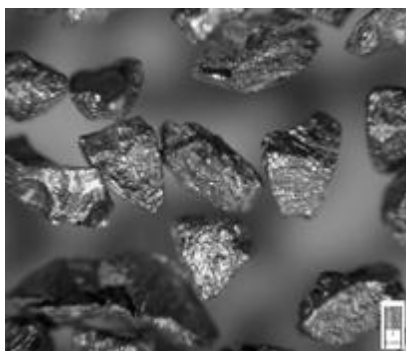


Рис 2.11 Схема оброблення при «натіканні» магнітного середовища

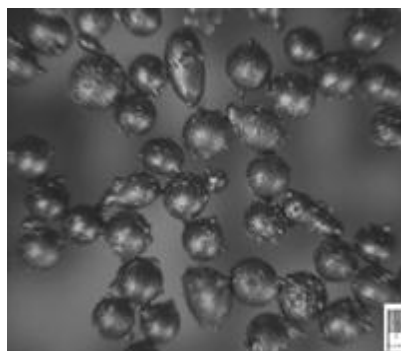
## 2.5 Магнітно-абразивні матеріали, що використовувались при МАО

Для формування МАІ використовували різні типи МАП: з округлою формою частинок - ПР Р6М5 зернистістю 315/200 мкм та Царамам зернистістю 630/200 мкм; осколкові - Феромап зернистістю 315/200 мкм та ДЧК 630/400 зовнішній вигляд порошків представлений на рисунку 2.12.

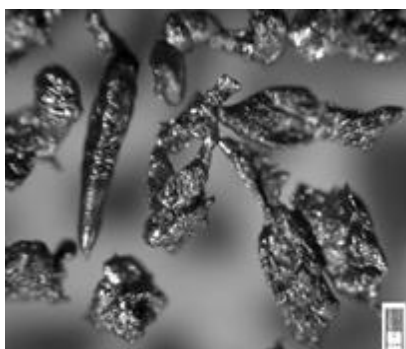




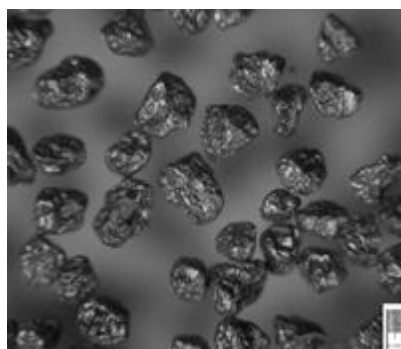
ДЧК 630/400 мкм



ПР Р6М5 315/200 мкм



Царамам 630/400 мкм



Феромап 315/200 мкм

Рис. 2.12 Зовнішній вигляд порошків

Мікрогеометричні та геометричні показники МАП [35] наведені в таблиці 2.

Таблиця.2.3 Мікрогеометричні та геометричні показники МАП

Тип порошку	Фракція, мкм	Середнє значення $r_{кз}$ , мкм	$k_f$
ДЧК	630/400	71,22	1,63
ПР Р6М5	315/200	125,95	1,2
Царамам	630/400	73,89	3,01
Феромап	315/200	65,69	1,41

Така різниця в геометричних характеристиках порошків вибрана з метою комплексного дослідження впливу МАО на твердість поверхневого шару, шорсткість та радіус округлення РК спіральних свердел.

## 2.6 Обладнання для проведення експерименту

Експериментальні дослідження виконували на вертикально-свердлильному верстаті (Рис. 2.13).

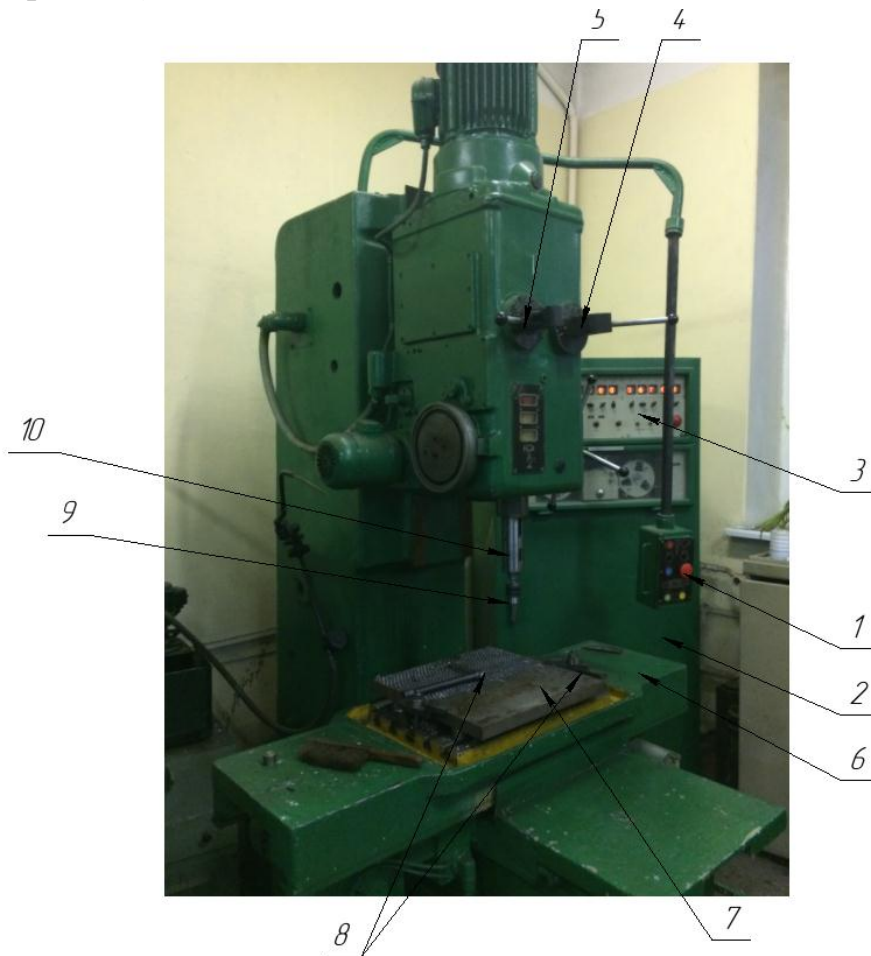


Рис. 2.13 Зовнішній вигляд вертикально-свердлильного верстату

Експериментальні дослідження на стійкість свердл виконували на вертикально-свердлильному верстаті (рис.2.13.), який складається з: 1 – пульт керування, 2 – електронний блок, 3 – цифрове табло, яке показує координати переміщення стола 6, важіль керування подачею – 4, важіль керування частотою обертання – 5, 7 – оброблювана деталь, прихвати – 8, для закріплення оброблюваної деталі, 9 – свердлильний патрон, 10 – шпиндель верстата.



## 2.7 Експлуатаційні дослідження свердел із швидкорізальної сталі

Дослідження стійкості свердел виконували при свердлінні наскрізних отворів на плиті товщиною 30 мм, оброблюваний матеріал Сталь 45, при частоті обертання свердла – 1000 об/хв, швидкості різання – 32 об/хв і подачі 0,1 мм/об. Механічні властивості Сталі 45 твердість – НВ 143 – 229 МПа, межа міцності – 590 – 810 МПа.

Величину зношення вимірювали на інструментальному мікроскопі за схемою, яка зображена на рисунку 2.14.

Виміри значень  $h_{zi}$  (знос по задній поверхні) виконувалися в перерізах  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  і, відповідно, позначалися -  $h_{z1}$ ,  $h_{z2}$  і  $h_k$ . Значення в перерізі  $a_0$  визначали з припущення, що окружна швидкість у точці О при роботі свердла наближається до нуля. Тому, заданим ступенем точності, можна припустити, що знос, в області суміжній з віссю свердла, йде за лінійним законом, тобто величину  $h_{z0}$  можна визначити за допомогою методу лінійної інтерполяції, використовуючи значення  $h_{z1}$  і  $h_{z2}$ . [36] Тоді для опису ліній зносу на задній ріжучій поверхні свердел було підібрано інтерполяційну функцію, яка має вигляд:

$$h_z(x) = b_0 + b_1 e^{f(x)} + b_2 / e^{f(x)}, \quad (2.1)$$

де  $b_i$  - коефіцієнти функції  $h_z(x)$ , що визначаються чисельно ( $i=0,1,2$ );

$x$  - координата головної кромки свердла;

$f(x) = x^m$  - степенева функція, що визначається з умов найкращої апроксимації лінії зносу на свердлах у контрольних точках шляхом вибору показника ступені  $m$  і забезпечує наближення теоретичної кривої до експериментальних значень зносу з помилкою не більш 5 - 8%. Результати апроксимації експериментальних результатів по чотирьох точках наведено на рис 2.14 у вигляді суцільних кривих.

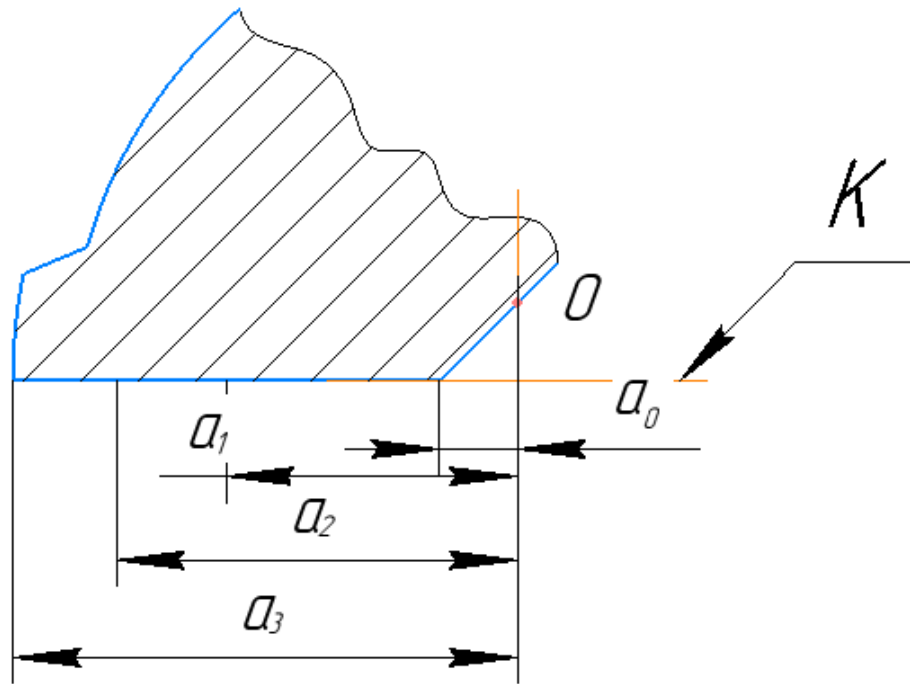


Рис. 2.14 Схема виміру значень  $h_{zl}$  при випробуваннях на стійкість свердел  $\varnothing 10$  мм; т.О - точка подовжньої осі свердла, лінія К - лінія головної різальної кромки.

Величину загальної площі зносу на кожному етапі випробувань визначали як:

$$S_{uz.} = \int_{a_0}^{a_3} h_z(a) \cdot da \quad (2.3)$$

За допомогою виразу (2.2), отриманого для різного часу експлуатації інструменту можна дослідити динаміку зносу, отримавши залежності зміни зносу на задній різальній поверхні вздовж головної різальної кромки від часу роботи або кількості просвердлених отворів.

### **3 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Попередні дослідження процесу МАО осьового різального інструменту із швидкорізальної сталі показали позитивний вплив на стан мікрогеометрії РК, покращення шорсткості задньої та передньої поверхні, можливість впливу на величину радіусу округлення РК для вирішення конкретних задач при металообробленні.

Дослідження проводили на свердлах діаметром 10 мм короткої серії зі сплаву Р6М5К5, що в свою чергу дозволяє виконати порівняння з попередніми результатами отриманими на свердлах діаметром 6,8 мм зі сталі марки Р6М5 [35].

#### **3.1 Дослідження впливу складу МАІ при МАО на показники якості свердл**

МАО досліджуваних свердел виконували на установці типу «кільцева ванна» (рис. 2.8) при наступних умовах:

- величина робочої зони: середній діаметр ванни 200 мм, висота 30 мм, ширина 35 мм;
- швидкість обертання свердла навколо осі «кільцевої ванни» 250 об/хв,
- швидкість обертання навколо власної осі 540 об/хв;
- час оброблення: в режимі «натікання» при обертанні свердла навколо власної осі за годинниковою стрілкою – 60 с, в режимі «стікання» при обертанні свердла навколо власної осі проти годинникової стрілки – 120 с;
- кут базування свердла відносно вектору головного руху  $p = 40^\circ$ ;
- величина магнітної індукції в робочій зоні не заповненій магнітно-абразивним порошком складала  $B = 0,23\text{Тл}$ .

Для відновлення форми магнітно-абразивного інструменту використовували відновлювальний стрижневий елемент (ВСЕ) Ø 10 мм, кут базування якого складав  $40^\circ$  відносно площини «кільцевої ванни»[35].

Для формування МАІ використовували різні типи МАП: з округлою рівновісною формою частинок – ПР Р6М5 зернистістю 315/200 мкм та

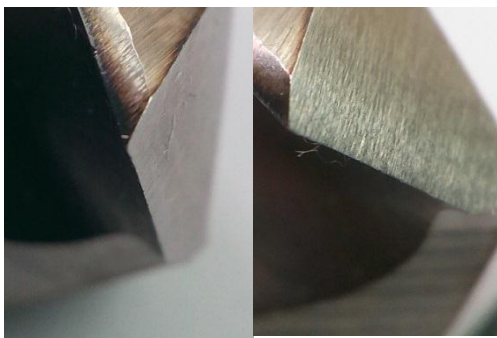
нерівномірною – Царамам зернистістю 630/400 мкм; осколкові рівновісні – Феромап зернистістю 315/200 мкм та ДЧК 630/400 мкм з додаванням олійної МОТС марки АСФОЛ.

У порівнянні з попередніми роботами [35,36,], для створення МАІ вперше використовувались абразивні порошки більшої фракції, оскільки вважалось, що збільшення розміру може виконувати неякісне оброблення складнопрофільної поверхні, а особливо стружкових канавок на осьових інструментах.

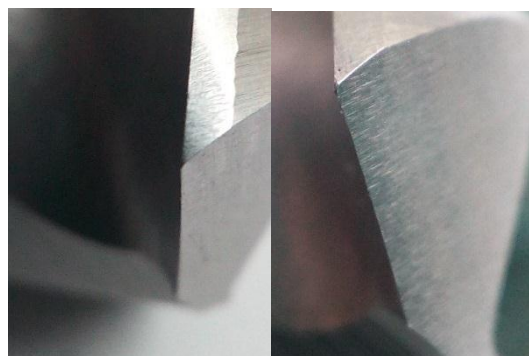
### **3.1.1 Вплив складу МАІ на мікрогеометрію робочих елементів свердел**

Вимірювання параметрів РК виконували до та після МАО за методикою наведеною в розділі 2.

Зовнішній вигляд стрічки та задньої поверхні свердел до МАО і після представлено на рисунку 3.1. Показано, що після циклу МАО з кромки видаляється регулярний мікрорельєф, задирки, формується рівномірна та гладка поверхня. На деяких свердлах помітні незначні дефекти, отриманні на фінішних етапах їх виготовлення, а саме заточуванні. Навіть без порівнянь технічних характеристик, різальні кромки мають значно кращий, відполірований вигляд.



а



б

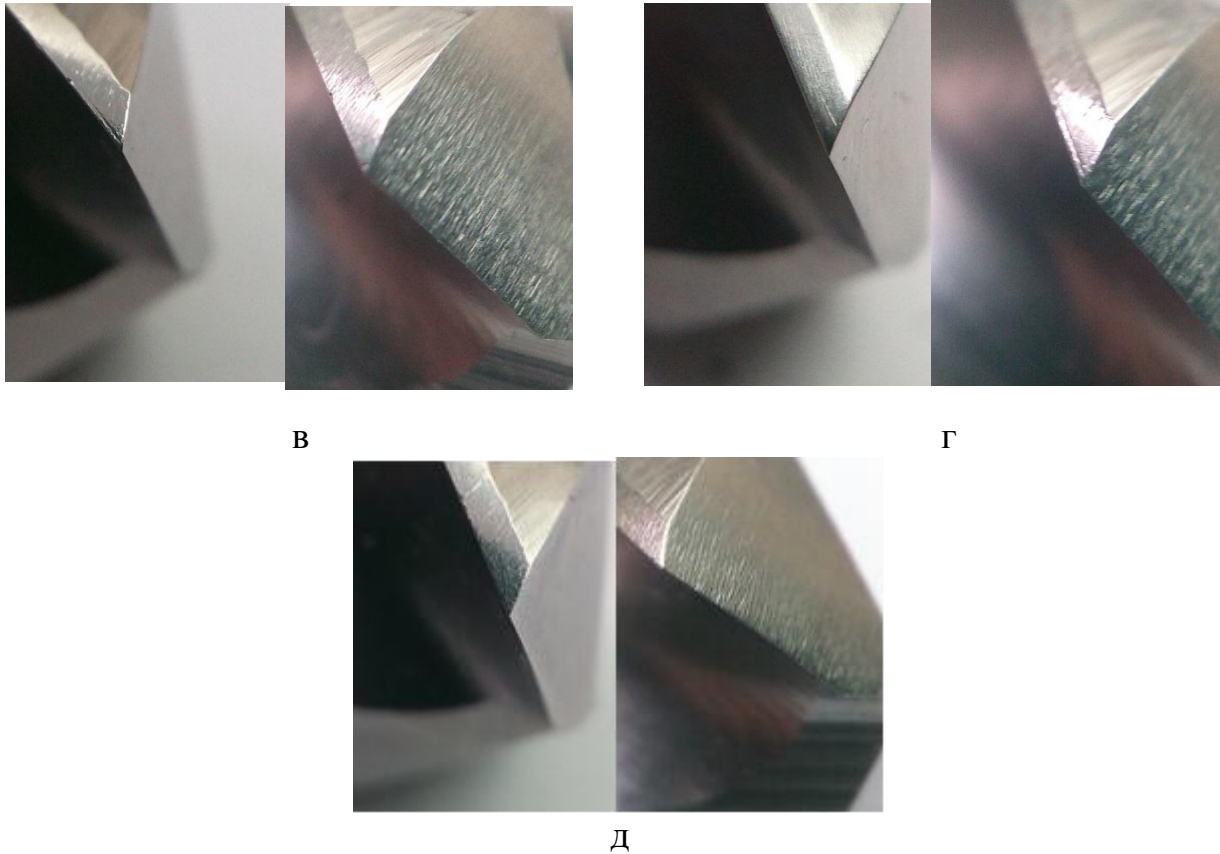


Рис. 3.1 Загальний вигляд стрічки та задньої поверхні свердел:  
 а – вихідний стан до МАО; після МАО різними типами МАП:  
 б – ПР Р6М5 315/200 мкм, в – Царамам 630/400 мкм, г – Феромап 315/200 мкм,  
 д – ДЧК 630/400 мкм

До МАО величина радіуса округлення РК складала 13,24 мкм. На рис. 3.2 показано результати впливу використаних різних типів МАП для формування МАІ на радіус округлення РК після конвертування даних в систему MatchCad. Показано, що після оброблення округлими порошками ПР Р6М5 315/200 мкм та Царамам 630/400 мкм отримано менші радіуси округлення РК ніж після оброблення осколковими – Феромап 315/200 мкм та ДЧК 630/400 мкм, що власне підтверджує данні попередніх досліджень про використання саме осколкових типів МАП для досягнення більшого радіусу округлення різальних кромки. Проте, варто звернути увагу на вплив розміру фракцій зерен: ДЧК та Царамам з фракцією 630/400 мкм не поступилися результатом перед ПР Р6М5 315/200 мкм, що як мінімум дозволяє

розглядати данні порошки як можливі, при утворенні необхідного радіусу заокруглення РК.

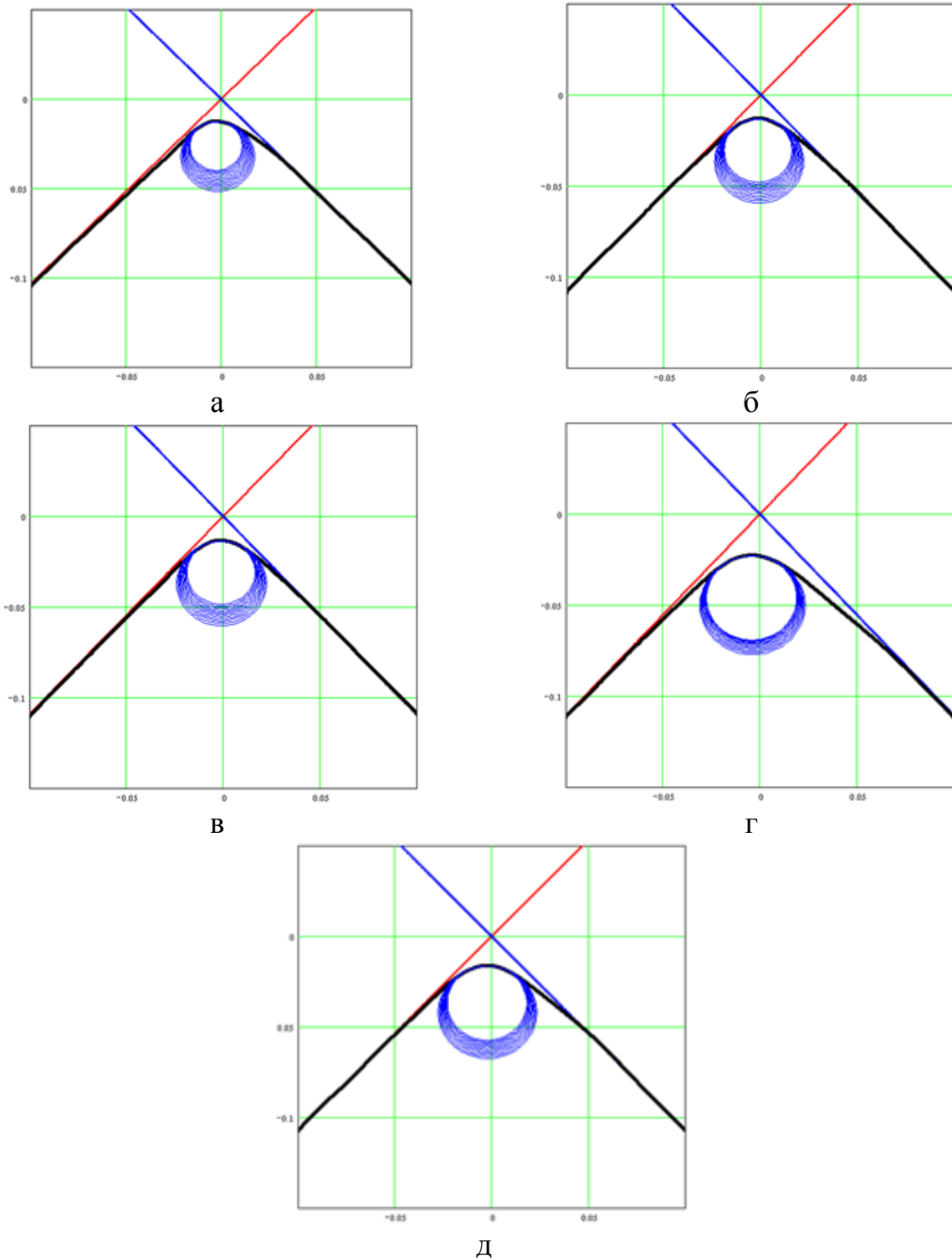


Рис. 3.2 Результати вимірювання радіусів округлення РК свердл в середовищі MatchCad: а – вихідний стан до МАО; після МАО різними типами МАП: б – ПР Р6М5 315/200 мкм, в – Царамам 630/400 мкм, г – Феромап 315/200 мкм, д – ДЧК 630/400 мкм

Інтенсивність формування радіусу округлення РК сверدل залежить від абразивної здатності частинок порошку, які використовуються для формування МАІ, про що свідчать результати вимірювань, наведені на рис. 3.3

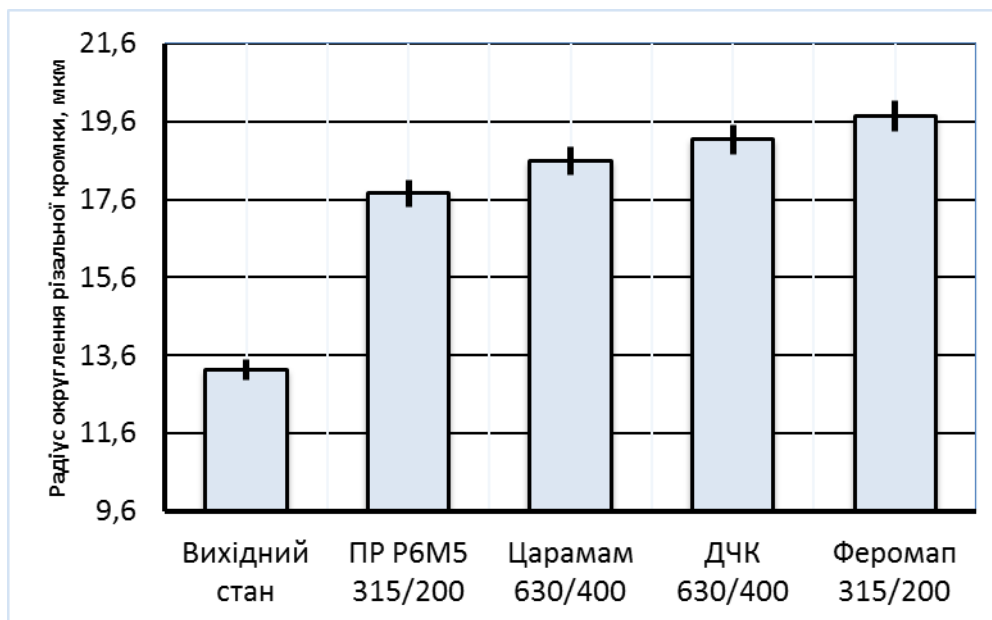


Рис. 3.3 Результати вимірювання радіусу округлення РК свердел

Найбільший радіус округлення РК свердел сформовано при використанні порошку Феромап 315/200 мкм – 19,75 мкм порівняно з необробленим. Отриманий результат пов'язаний з тим що у складі даного порошку містяться абразивні включення ТіС, які мають твердість 28 ГПа. Однак як було зазначено вище, порошки ДЧК 630/400 мкм та Царамам 630/400 мкм незважаючи на очікуваний негативний результат, дали при обробленні значення радіусів 19,13 мкм та 18,58 мкм відповідно. Отриманий діапазон радіусів округлення на осьовому інструменті зі швидкорізальної сталі діаметром 8 – 12 мм рекомендований провідними фірмами виробників РІ для забезпечення якісного оброблювання.

Провівши дослідження, можна стверджувати, що для збільшення значення радіусу округлення різальної кромки, однозначно потрібно використовувати порошки осколочної форми, проте використання порошків округлої форми також можливе, взявши до уваги розмір фракції порошку. При її збільшенні та корегування режимів МАО, доцільно припустити, що можливо отримати результат

який буде близький до значень радіусів округлення при використанні порошку осколочної форми.

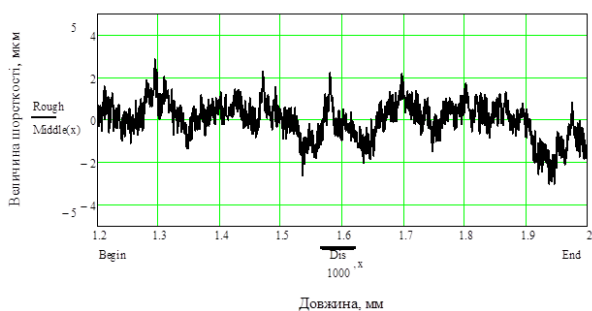
Заокруглення радіусів кромки може нести як позитивний так і негативний вплив на процес різання, залежно від оброблюваного матеріалу (гострі кромки для більш в'язких матеріалів, заокругленні для твердих), то низькі значення шорсткості та виска поверхнева твердість – необхідні якості притаманні для різального інструменту високого класу.

Узявши до уваги ці фактори наряду з МАП крупних фракцій були використані і середні фракції, які використовувались у ранніх роботах, для наглядного порівняння результатів досліджень, підтвердження висновків попередніх.

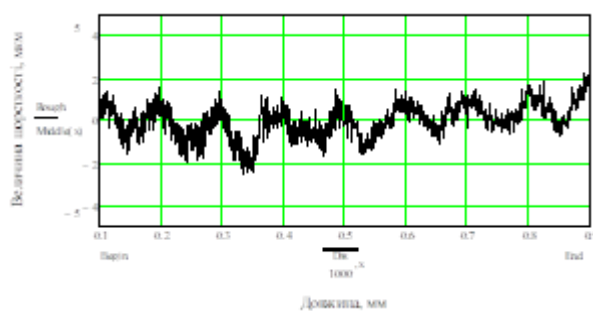
Отже з отриманих результатів встановлено, що для формування відповідних радіусів округлення РК на свердлах, які мають напіввідкриті поверхні при MAO доцільно використовувати осколкові рівновісні або округлі нерівновісні порошки, які дозволяють створювати більш рухливий МАІ та зменшує вірогідність утворення малорухливих скупчень порошку в стружкових канавках.

### 3.1.2 Вплив складу МАІ на шорсткість робочих поверхонь свердел

До та після MAO контролювали зміну параметру шорсткості  $Ra$  на задній поверхні свердел. Шорсткість поверхонь впливає на експлуатаційні властивості деталей: тертя та зношуваність, контактні деформації, корозійну стійкість, теплопровідність та ряд інших властивостей. На рис. 3.4 показано результати у вигляді профілограм за методикою описаною в розділі 2.

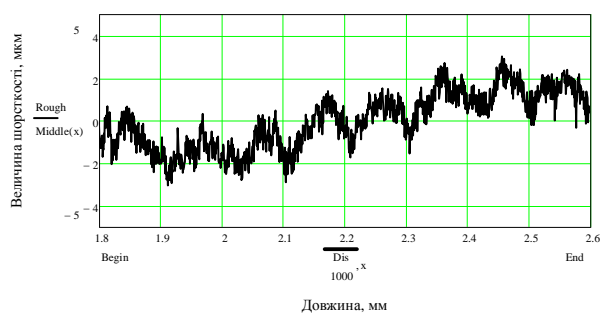


а

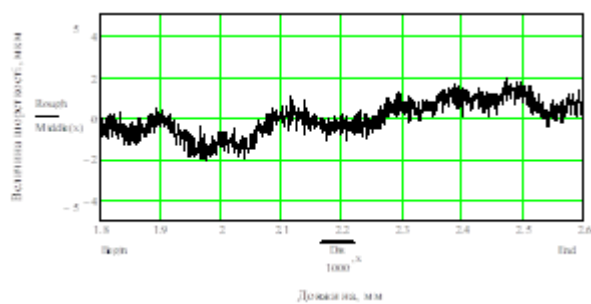


б

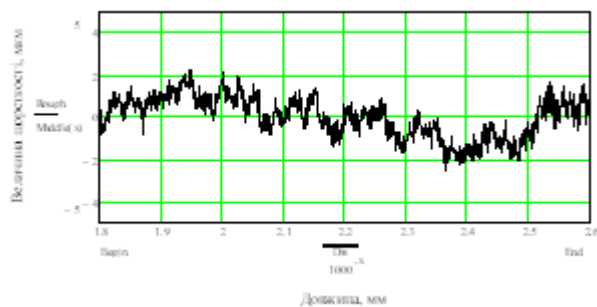




В



Г



Д

Рис. 3.4 Профілограми шорсткості задніх поверхонь свердел: а – вихідний стан до МАО; після МАО різними типами МАП: б – ПР Р6М5 315/200 мкм, в – Царамам 630/400 мкм, г – Феромап 315/200 мкм, д – ДЧК 630/400 мкм

Аналіз отриманих профілограм показує, що при використанні осколкового типу порошку, а саме Феромап 315/200 мкм та ДЧК 630/400 мкм (рис. 3.4 г та д) відбувається згладжування виступів та впадин профілю на базовій довжині, а також видалення спадковості від попереднього оброблення. Так як дані порошки мають більшу кількість загострених кромek, які в процесі МАО можуть повертатися і відновлювати свою абразивну та полірувальну здатність. При використанні округлих форм порошків (рис. 3.4. б та в) відбувається незначне згладжування профілю і спостерігається спадковість (рис. 3.4. а) від попереднього шліфування задньої поверхні свердел.

Результати вимірювання параметру шорсткості зображено на рис. 3.5. Показано, що найменшу шорсткість отримано після МАО при використанні для формування МАІ Феромап 315/200 мкм на рівні 0,115 мкм при вихідній на рівні 0,5 мкм за рахунок його високих абразивних властивостей, що зумовлені формою порошку та його різальною здатністю. Отримана шорсткість після використання

ПР Р6М5 (0,265 мкм) має вище значення оскільки абразивна здатність МАП знижена за рахунок різниці в геометричних та мікрогеометричних параметрів різальних кромek зерен (таблиця 2.3). Щодо Царамама 630/400 мкм та ДЧК 630/400 мкм значення шорсткості (0,29 мкм) отримано за рахунок переважно пластичного деформування мікронерівностей без активного диспергування матеріалу з поверхні свердел.

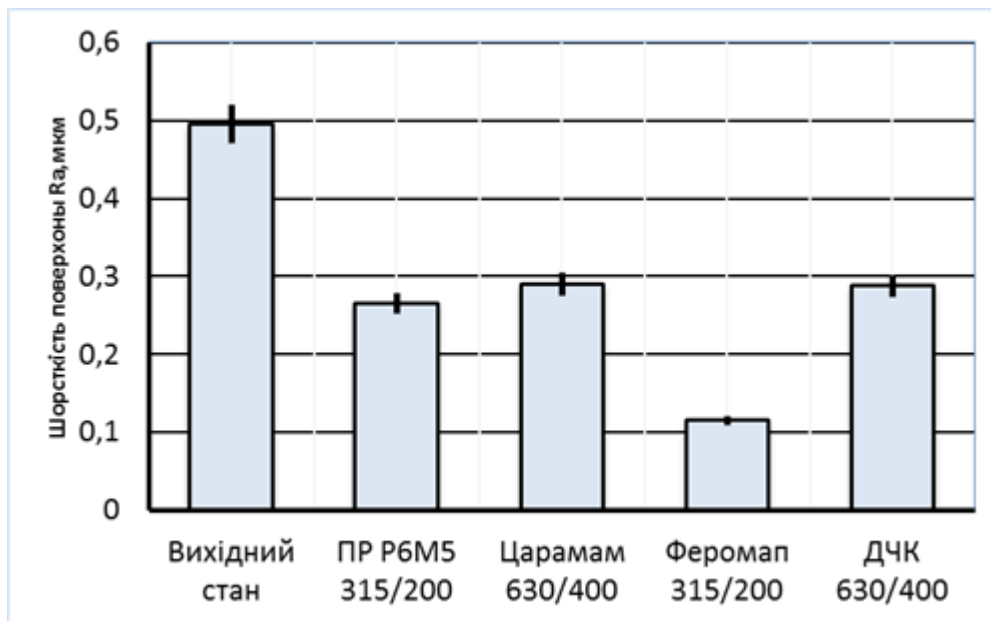


Рис. 3.5 Шорсткість задньої поверхні свердел до та після МАО

### 3.1.3 Вплив складу МАІ під час МАО на поверхневу твердість свердел

Найкращі показники по зміцнювальному обробленні притаманні порошку ДЧК 630/400 мкм (рис. 3.6). Це пояснюється його низькою абразивною здатністю, хоч зерна і мають осколкову форму, за рахунок неоднорідності форми та розміру фракції зерна, процес оброблення відбувається переважно за рахунок мікропластичних деформувань. При збільшенні маси зерен має місце збільшення кінетичної енергії взаємодії МАІ і оброблюваної поверхні, в результаті ударного впливу відбувається пластичне деформування [35]. Наведені результати корелюють з даними по визначенню розмірів різальних кромek МАП, які раніше використовувались при МАО та підтверджують розрахунки, наведені в [36].

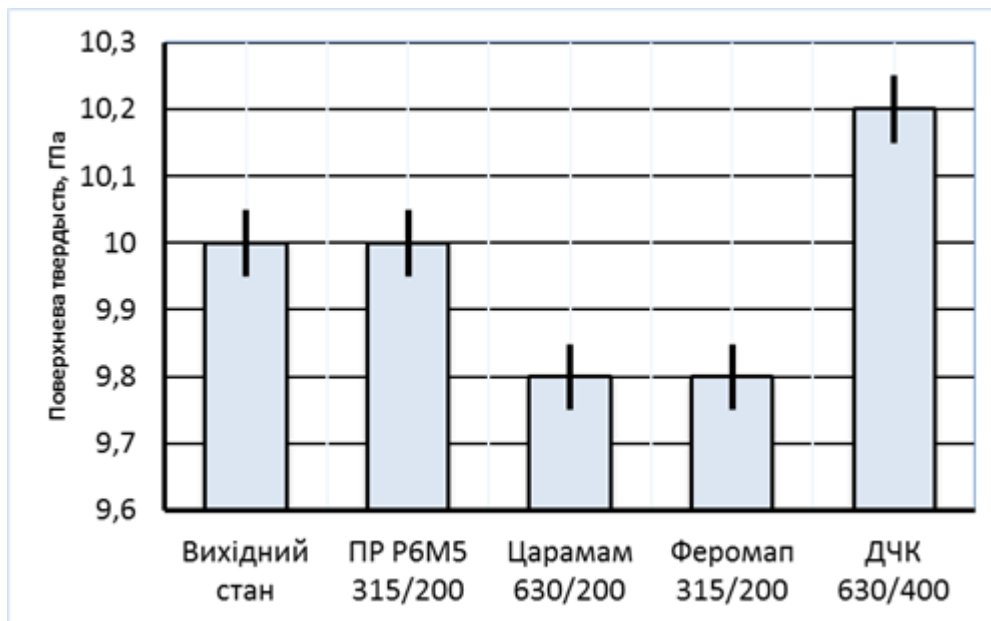


Рис. 3.6 Поверхнева твердість свердел до та після МАО

При використанні порошку ПР Р6М5 315/200 мкм, зміни твердості не відбулася, оскільки одночасно з процесом зміцнення поверхневого шару відбувається його диспергування

При використанні порошків Царамам 630/400 мкм та Феромап 315/200 мкм має місце пониження твердості. Як і у випадку з ПР Р6М5 при обробленні відбувається процес диспергування, наслідок якого в данному експерименті, власне, пониження мікротвердості поверхневого шару.

Щодо оброблення Царамамом 630/400 та його впливу на твердість, можна стверджувати що дані попередніх робіт підтвердились. А саме пониження мікротвердості при обробці фракціями 630/400. Для усунення недоліку необхідно збільшити швидкість МАО що веде за собою усунення підшарового мінімуму мікротвердості.

Встановлено, що оброблення порошком з розміром частинок 630/400 мкм знижує мікротвердість по всій товщині зміцненого шару і приводить до погіршення шорсткості обробленої поверхні порівняно з обробкою фракцією 200/100 мкм. Проте оброблення при великих швидкостях з використанням крупної фракції спричиняє відсутність підшарового мінімуму мікротвердості. Це можна пояснити тим, що в немонотонній зміні (формуванні максимумів та мінімумів)

мікротвердості при МАО особливу роль грають прошарки, в яких скупчується велика кількість малорухомих дислокацій [38].

### **3.2 Експлуатаційні дослідження свердел із швидкорізальної сталі**

Експлуатаційні дослідження свердел зі сталі Р6М5К5 діаметром 10 мм виконували за методикою, наведеними в розділі 2.7.

Вибір матеріалу також пов'язаний з тим, що експлуатаційні дослідження проводились при пришвидшеному процесі зношення різальних елементів свердла, тобто при жорсткіших режимах різання:  $V = 32$  м/хв та  $n = 1000$  об/хв, порівняно з рекомендованими:  $V = 25$  м/хв та  $n = 800$  об/хв [1] задля отримання більш чітких результатів побудові кривих зносу, та виділення її основних трьох фаз (приробітку, нормальна робота, повне зношення робочої поверхні). Сплав Р6М5К5, що рекомендований для оброблення більш твердих матеріалів, таких як високолеговані, нержавіючі сталі та жаростійкі, титанові сплав гарантував при дослідженнях стабільність процесу утворення отворів, тоді як при обробленні за допомогою свердел Р6М5 не за рекомендованими режимами різання критичне зношення РІ могло виникнути на при малій кількості виконаних отворів (практично виключити період нормальної роботи з кривої зносу).

Результат вимірювання та аналізу зношення свердел із швидкорізальної сталі представлено у вигляді графіків (рис. 3.7).

Показано, що процес припрацювання необроблених свердел відбувається до величини зношення на задній поверхні, яка дорівнює  $H_0 = 0,15 - 0,25$  мм і в подальшому змінюється несуттєво. Величина критичного зношення на задній поверхні необроблених свердел  $H_0 = 0,3$  мм формується після роботи оброблення 80 отворів.

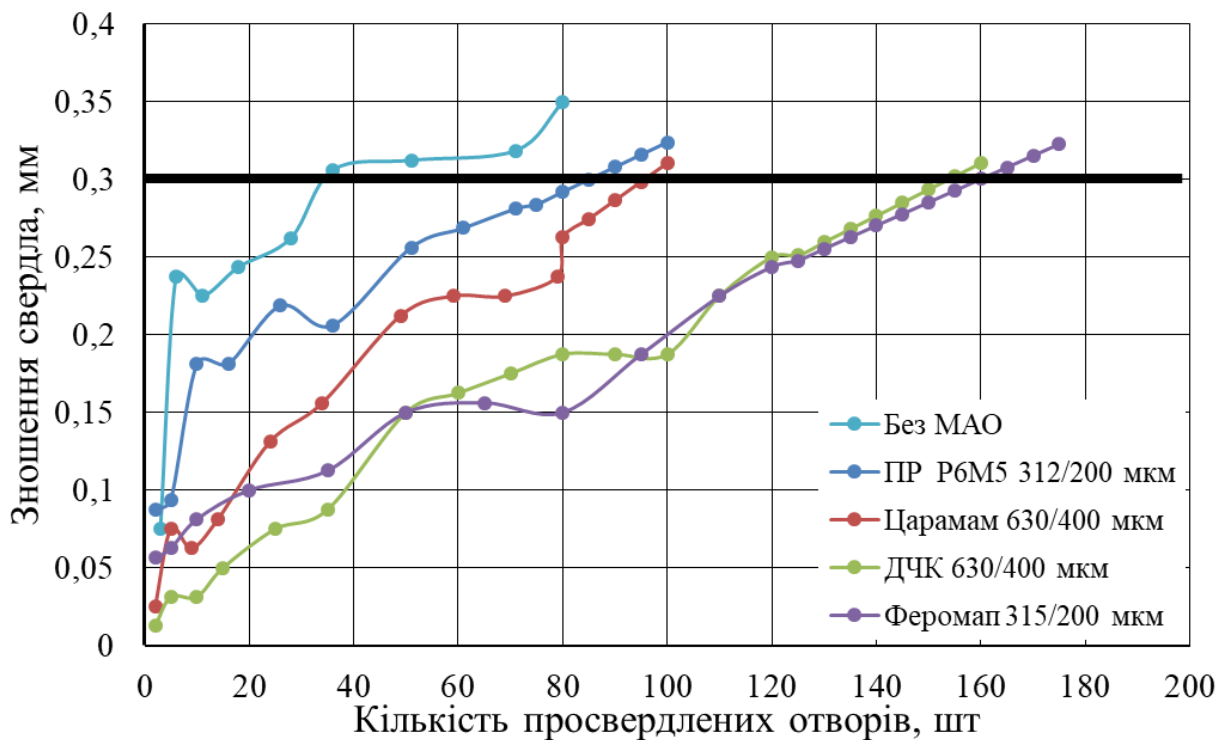


Рис. 3.7 Зношення свердел в залежності від кількості просвердлених отворів

У свердел оброблених за допомогою МАО величина зношення на задній поверхні формується на задній поверхні від  $H_0 = 0,1$  до  $0,15$  мм.

Показано, що процес МАО прогнозовано підвищує працездатність свердел до  $1,5 - 2$  разів.

Найкращу стійкість показали свердла після МАО з використанням для формування МАІ осколкових порошків ДЧК 630/400 мкм та Феромап 315/200 мкм. Оброблення Феромапом забезпечило оптимальне значення радіусу заокруглення різальної кромки ( $19,75$  мкм) та величину шорсткості ( $R_a = 0,115$  мкм), що і вплинуло на результат стійкісних випробувань.

Варто зазначити, що до оброблення МАО у зв'язку з тим, що використовувались свердла короткої серії та товщина плити при обробленні наскрізних отворів –  $30$  мм, відвід стружки був досить ускладнений, це пояснюється також і жорсткішими режимами різання. Іноді необхідно було виконувати отвір за два проходи свердла. Проте цей недолік було повністю усунуто при використанні свердел після циклу МАО.

Свердла після МАО порошком ДЧК 630/400 мкм, у яких спостерігається незначне збільшення мікротвердості поверхневого шару (10,2 ГПа) яке він забезпечив зіграло свою роль при проведенні досліджень. Варто зазначити, що і радіус заокруглення при обробленні РК при обробленні за допомогою ДЧК (19,13 мкм) близький за значенням до радіусу який отримали при обробленні Феромапом (19,75 мкм), також параметр шорсткості відносно іншим МАП – задовільний (0,29 мкм).

Результатом проведених експериментів досягнуто:

1. Підвищення стійкості свердел із швидкорізальної сталі відбувається за рахунок формування шорсткості робочих поверхонь з величиною  $R_a < 0,15 - 3$  мкм, підвищення поверхневої твердості (вдалося лише з використанням ДЧК на незначне значення в 1%), формування радіуса округлення РК оптимального значення – 18 мкм в середньому.

2. Досліджено вплив складу МАІ в процесі МАО на показники якості свердел із швидкорізальної сталі.

3. Досліджено вплив МАП з параметрами, які раніше не використовувались при дослідженнях.

4. Результати експериментів в більшій мірі співпадають з попередніми дослідженнями МАО кінцевого та осьового інструменту, проте деякі отримані результати не підтверджують, а доповнюють їх винятками.

Встановлено:

- розмір фракції порошоків не має такого впливу на процес МАО як, власне, форма зерна;

- при МАО з рівновісних порошоків округлої форми (таблиця 2.3) формування шорсткості, поверхневої твердості та радіусу округлення відбувається за рахунок пластичних деформувань внаслідок ударної взаємодії частинок МАП з робочими поверхнями інструменту;

- при використанні осколкових нерівновісних порошоків (таблиця 2.3.) формування шорсткості, поверхневої твердості та радіусу округлення відбувається за рахунок абразивної здатності порошоків;

- розмір фракції МАП впливає на підвищення твердості матеріалу інструменту;
- на стійкість інструменту значний вплив мають комплексні показники шорсткості, радіусу округлення РК, поверхневої твердості та властивості МАП.

## **4. МАРКЕТИНГОВИЙ АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ МАО ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ СВЕРДЕЛ ІЗ ШВИДКОРІЗАЛЬНОЇ СТАЛІ**

### **4.1 Зміст ідеї**

Ідеєю проекту є дослідження, удосконалення, та впровадження технології покращення якостей та технічних можливостей монолітного осьового інструменту шляхом МАО.

Дослідження технології показано на прикладі свердел, а саме використання МАО для покращення таких характеристик як радіус заокруглення кромки, шорсткості та поверхневої твердості (комплексні технічні характеристики). При цьому в проекті передбачено використання конкретних МАП, для виконання необхідних параметрів інструменту що дає можливість отримати свердло підвищеної стійкості та можливим для використання для конкретних задач підприємства .

Сучасний ринок свердел із швидкорізальної сталі досить широкий, адже промисловість в економічних цілях потребує збільшення ефективності та стійкості інструменту, з'являється необхідність оброблювати нові матеріали, потреби підприємства вимагають необхідної стійкості інструменту Все це насамперед викликано стрімким розвитком машинобудівної галузі в цілому: лиття пластмас під тиском, штампування металів, застосуванням нових більш міцних матеріалів. Актуальною галуззю використання даного інструменту також була і залишається аерокосмічна галузь, автомобілебудування.

На відміну від існуючих технологій покращення якісних характеристик інструменту, запропонована технологія дозволяє зменшити номенклатуру використовуваного на підприємстві інструменту, підвищити ефективність технологічного процесу, що безпосередньо позитивно вплине на загальні капіталовкладення та вартість готового продукту в цілому, а тимбільше на грошові затрати підприємств-замовників. Окрім того такий метод оброблення як МАО характеризується високою точністю та якістю обробленої поверхні, що безумовно надає цьому методу перевагу над іншими методами формоутворення.



Свердло матиме характеристики властиві більш дорогим еквівалентам (при цьому враховуючи кошти затрачені на технологію МАО). Недоліком, а з іншого боку перспективою, можна сказати що технологіє не є досить розповсюдженою, та багатьом замовникам просто незнайома. В подальшому, планується посередня робота з підприємствами – замовниками інструменту для покращення властивостей інструменту і відносної собівартості в порівнянні з аналогами необхідними на ту чи іншу операцію. При достатньому розвитку, можливе започаткування виробництва верстатів оснащених установками для виконання МАО, і в свою чергу оснащення інструментальних цехів підприємства ними..

Таким чином, запропонована ідея дозволяє підприємству отримати більш точний та стійкий інструмент не зазнавши значних економічних затрат за рахунок скорочення технологічного процесу, використанні напів-автоматичного та гнучкого обладнання, зниження номенклатури інструменту та трудозатрат на виготовлення продукції. При такій системі умов дана технологія є перевагою перш за все підприємств з плановим да достатньо високим обсягом виробництва.

#### **4.1.2 Можливі напрямки застосування**

Запропонована ідея розрахована на приватні підприємства, які в більшості своїй розуміються в питаннях витрат виробництва та здатні започатковувати експериментальну базу на своїй основі. В перспективі технологією можуть і користуватись державні підприємства, проблема в бюджеті. Високий попит планується здійснити за рахунок того, що на території України практично відсутні конкуренти. З можливих проблем можна назвати те, що покращення інструменту являється не вигідним власне для постачальників інструменту.

В даному випадку одним з перший кроків для розкрутки ідеї є хороша реклама та прийом одиничних замовлень для покращення інструменту. Проведення додаткових досліджень для покращення методу конкретної групи інструменту (в нашому випадку свердел). Одним із периферійних напрямків є проведення операцій з відновлення працездатності ріжучого інструменту з великою точністю.

#### 4.1.3 Основні вигоди, що може отримати користувач товару

Потенційний користувач отримує переваги у вигляді підвищеної стійкості інструменту, точності виготовлення та високих експлуатаційних показників. Запропонований інструмент є вирішенням проблеми користувача в питаннях обробки важкооброблюваних матеріалів. Застосування такого інструменту дає змогу підвищити ефективність роботи, підвищити точність продукції, знизити роль інструменту в собівартості продукції. Крім того висока точність свердел є передумовою для оптимізації технологічних процесів користувача, так як оброблена поверхня за полем допуску може задовольняти конструкторським вимогам вже на етапі свердління.

Крім того, забезпечення оптимальної геометрії інструменту за рахунок МАО дає можливість застосувати просту заточку по двом площинам. Вигода користувача в тому, що стійкість інструменту вища в 1,5-2 рази. За рахунок цього в достатній мірі знижуються економічні затрати користувача.

Зведені параметри запропонованої ідеї наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 Опис ідеї старап-проекту

<i>Зміст ідеї</i>	<i>Напрямки застосування</i>	<i>Вигоди для користувача</i>
1. Покращення якості інструменту (послуга)	1. Осьовий інструмент для обробки отворів. 2. Технологія можлива практично для всіх типів інструменту.	Підвищена продуктивність в 1,5- 2 рази
2. МАО свердел		Точність виготовлення інструменту, якість його поверхонь
3.Оптимальна мікрогеометрія та стійкість інструменту		Висока стійкість та надійність інструменту. Підвищення ефективності механічної обробки, розширення та оптимізація технологічних процесів підприємств.

#### **4.1.4 Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї**

Порівняння за такими техніко-економічними характеристиками як економічні, технічні, надійності, технологічні та експлуатаційні. Дані критерії входять до методик оптимізації технологічних процесів та є такими, що висвітлюють найбільш об'єктивне положення в галузі машинобудування.

До основних конкурентів можна віднести наступні компанії: ISCAR, Mitsubishi, Taegutec. Компанія ISCAR випускає окрім інструменту з ЗНП лінійку монолітного осьового твердосплавного інструменту SolidDrill (SCD, SCDR). Названі виробники спеціалізуються на високоякісному виробництві свердел з технологією покриттів, які не призначені для обробки на МАО. Великий асортимент вузько направленої продукції даної компанії викликає конкуренцію навіть між власними позиціями товару. Окрім того політика компанії направлена на застосування великої номенклатури інструменту для споріднених видів робіт, що потребує високих економічних затрат з боку користувача.

Компанія Mitsubishi Carbide більше направлена на монолітний твердосплавний інструмент і має велику наукову базу в питаннях конструкції та технології виготовлення. Пошук оптимальної геометрії ведеться одразу за декількома напрямками. Недоліком даної продукції є її вартість та відносна малодоступність на території України, що обмежує деяких користувачів у використанні даного інструменту.

Компанія Taegutec має одні з найбільших досягнень в області осьового інструменту із швидкорізальної сталі і є одним з лідерів ринку. Окрім того компаніє є і постачальником якісних сталевих заготовок для інших підприємств.

Порівняння з виробниками-конкурентами наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		M ій проект	ISK AR	Mit subishi Carbide	T aegutec			
·	Економічні		SolidDrill	WSTAR Drill	H-Drill	Вартість інструменту		номеклатура інструменту, капіталовкладення, потреба у робочій силі, виробничій площі та обладнанні
·	Технічні					Твердоспла	Матеріал ріжучої частини	Стійкість, точність, якість поверхонь
·	Надійності							Відсутність великої кількості елементів
	Технологічні						Можливість автоматизації	Ексклузивний процес. мінімальна кількість обладнання, високі показники ефективності.
	Експлуатаційні							Запас на переточування, прості операції повернення працездатності, стабільність роботи за рахунок оптимальної геометрії

## 4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

### 4.2.1 Технологічна здійсненність ідеї проекту

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз таких складових:

- за якою технологією буде виготовлено товар згідно ідеї проекту?
- чи існують такі технології, чи їх потрібно розробити/доробити?
- чи доступні такі технології авторам проекту?

Технологія виготовлення продукту є одним з ключових факторів успішності ідеї на ринку. Визначимо основні та найважливіші етапи:

- в якості об'єкту покращення використовуються свердла із швидкорізальної сталі;
- обробка всіх різальних поверхонь ведеться за один раз;
- можливість автоматизації процесу;
- обробка здійснюється інструментом з практично нескінченним потенціалом до покращення.

Покращення свердел за даною технологією є відомим на сьогодні методом. Проте не всі гравці ринку застосовують дані технології, так як не вирішено питання остаточної форми та геометрії різальних елементів інструменту. Не є очевидним доцільність використання саме цієї технології для роду певних підприємств. І це обумовлено не лише обладнанням, а об'ємом потреб в саме такому інструменті.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту наведено в табл. 4.3.

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

<i>№ n/n</i>	<i>Ідея проекту</i>	<i>Технології її реалізації</i>	<i>Наявність технологій</i>	<i>Доступність технологій</i>
1	МАО свердел	Технологія 1: Оброблення на типових верстатах, оснащеними спеціальними	Технологія наявна. Потребує дослідження варіантів установки та формоутворення.	Повінстю доступна

		установками.		
		Технологія 2: Оброблення на спеціально сконструйованих верстатах під данну операцію.	Технологія наявна.	Повністю доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Технологія 1				

Висновок. Розглянувши можливі варіанти забезпечення ідеї проекту обрано Технологію 1. Попри низьку поширеність та високу вартість обладнання вирішальним фактором є його гнучкість (адже конкурувати на сучасному ринку можливо лише з рядом продукції) та можливість його автоматизації, що є одним з важливих аспектів при малосерійному виробництві. Сьогодні є ряд виробників такого спеціалізованого обладнання, що повністю задовольняє ідеї проекту та перспективним для подальшого розвитку виробництва.

## 4.2 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

Аналіз попиту, його наявність, обсяг, динаміка розвитку ринку наведено в табл. 4.4.

Таблиця 4.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

<i>n/n</i>	<i>Показники стану ринку (найменування)</i>	<i>Характеристика</i>
	Кількість головних гравців, од	1..3
	Загальний обсяг продаж, ум.од/рік (Україна)	500 тис. у.о.
	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Особливі соціально-економічні умови
	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Не виявлено
	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	25..40

Таким чином, можна зробити висновок, що на ринку наявні гравці в дуже малій кількості, що пропонують продукцію з високою додатковою вартістю. Так як

характер інструментального виробництва є високотехнологічним та наукоємним виробники залишають за собою показники рентабельності та прибутку від тих чи інших угод. Проте невелика кількість учасників ринку дозволяє робити такі кроки. Об'єм ринку верстатів в Україні зростає і на сьогодні становить 15..25 млн. у.о.. Попри занепад більшості державних підприємств на підприємствах приватних відбувається перехід до більш сучасного обладнання. Таким чином в середньому 10..15 верстатів замінюється 1-2 сучасними оброблювальними центрами. Застосування сучасного обладнання вимагає і сучасного інструменту, особливо з появою відносно нових матеріалів.

Вхід на український ринок українського виробника є досить простим. Навіть враховуючи присутність світових компаній-лідерів через значні показники девальвації національної валюти будь-яке внутрішнє виробництво має перевагу перед імпортерами. Таке підприємство на внутрішньому ринку може виступати і в ролі експортера. Адже в сучасних економічних умовах це дозволяє конкурувати і за межами країни. Слід взяти до уваги і високу додаткову вартість виробників-конкурентів.

Потенційні групи клієнтів, їх характеристики та перелік вимог то товару наведено в табл. 4.5.

Таблиця 4.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

<i>№ n/n</i>	<i>Потреба, що формує ринок</i>	<i>Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)</i>	<i>Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів</i>	<i>Вимоги споживачів до товару</i>
1	Інструмент підвищеної стійкості	підприємства -виробники серійної продукції (обробка спеціальних високолегованих та жароміцних сплавів, композитних матеріалів і т.п.); підприємства -виробники продукту в галузі машинобудування	Акцент на зменшенні витрат за рахунок збільшення стійкості інструменту. Тяжіють до зменшення собівартості операції. Ціна інструменту є критичною мірою його застосування.	- до продукції: низьке співвідношення ціна/стійкість - до компанії-постачальника: можливість забезпечити інструментом конкретний об'єм виробництва

		(обробка прес-форм, загартованих сталей)		
2	Інструмент підвищеної точності	Авіаційна, аеро-космічна галузі, автомобілебудування, машинобудування, приладобудування	Акцент на високій точності та якості оброблених поверхонь відповідальних вузлів та механізмів. Допускається використання дорогого інструменту при умові забезпечення ефективності обробки.	- до продукції: висока точність, ефективність застосування - до компанії-постачальника: можливість забезпечити інструментом належної точності
3	Інструмент з покращеною геометрією	Підприємства зацікавлені в обробці важкооброблюваних матеріалів	Підприємства, що використовують обладнання малої потужності та жорсткості зацікавлені в зменшенні сил різання та вібрацій при обробці	- до продукції: мінімум затрат потужності обладнання - до компанії-постачальника: можливість забезпечити інструментом конкретний об'єм виробництва

#### 4.2.1 Аналіз ринкового середовища

Нижче наведено таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. №№ 4.6-4.7).

Таблиця 4.6. Фактори загроз

№ n/n	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Загальний спад на ринку металообробки серед виробників	Зменшення обсягів металообробки внаслідок суспільно-економічних чинників і як результат спад попиту на інструментальне виробництво.	Вихід на нові ринки на міжнародному рівні



2	Залежність від постачальників сировини	Невелика кількість постачальників сировини дає змогу їм регулювати ринок, володіють значною переговорною силою.	Довгострокова співпраця з постачальниками, створення взаємовигідних умов співпраці; Розроблення інших видів заготовок.
3	Залежність від виробників обладнання	Зростання вартості обладнання та його обслуговування	Розвиток власного напрямку обслуговування та вдосконалення обладнання

Таблиця 4.7. Фактори можливостей

<i>n/n</i>	<i>№</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст можливості</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1		Вдосконалення власної науково-технічної бази	Нові види інструменту, технології їх виготовлення, підвищення показників ефективності	Постійний розвиток технологій
2		Вихід на нові ринки	Збільшення об'єму продажів, співпраця з новими підприємствами та країнами.	Пошук нових ринків збуту та партнерів
3		Впровадження франшиз, філіалів та відділів в різних регіонах	Створення власних центрів сервісу, обслуговування та виготовлення продукції, розвиток об'ємів виробництва	Своєчасне проведення аудиторських та маркетингових досліджень

Загальні риси конкуренції на ринку наведено в табл. 4.8.

Таблиця 4.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</i>
1. Тип конкуренції олігополія	На ринку представлені переважно великі міжнародні компанії, їх кількість невелика. Практично відсутні малі підприємства.	Боротьба за вузькоспеціалізовані галузі металообробки там де великі компанії мають дуже високу ціну.

2. За рівнем конкурентної боротьби міжнародний	Компанії виробники представлені в різних країнах світу.	Розвиток логістичних і транспортних систем.
3. За галузевою ознакою внутрішньогалузева	Переважно виробники спеціалізуються на виготовленні інструменту та оснастки. В меншій мірі присутня міжгалузева конкуренція.	Концентрація над конкретними ідеями.
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-видова	Найбільшого значення має призначення товару.	Представлення на ринку різних видів інструменту.
5. За характером конкурентних переваг - цінова/не цінова	Конкуренція як за рахунок перспективних технологій так і за рахунок зниження цін.	Забезпечити компромісне рішення
6. За інтенсивністю - марочна	На ринку висока роль бренду.	Приділити увагу маркетинговій компанії для впізнаваності на ринку.

Перелік факторів конкурентоспроможності наведено в табл. 4.9.

Таблиця 4.9. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

<i>n/n</i>	<i>№</i> <i>Фактор конкурентоспроможності</i>	<i>Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)</i>
1	Оригінальна ідея створення оптимальної геометрії інструменту	Розглянутий інструмент відрізняється від інших виготовлених за подібною технологією оригінальною формою канавок, розробленою на основі аналізу формоутворення та аналізу геометрії ріжучої частини
2	Гнучке обладнання	Сучасне обладнання дозволяє швидко налаштовуватись на потреби ринку
3	Відсутність конкурентів всередині країни	Мінімальна залежність цін на внутрішньому ринку від курсу валют, затрат на транспортування тощо.
4	Відсутність додаткової вартості продукції	Немає додаткової вартості за «бренд»

Висновок. З огляду на конкурентну ситуацію вихід ідеї на ринок можливий, проте слід розраховувати на ті галузі, де конкуренти мають найменший вплив.

#### 4.2.2 SWOT-аналіз

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (табл. 4.10) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (табл. 4.5-4.6).

Таблиця 4.10. SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- позитивне ціноутворення на внутрішньому ринку;</li> <li>- прогресивна геометрія інструменту;</li> <li>- ефективний технологічний процес;</li> </ul>	<p>Слабкі сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- відсутність власної сировинної бази;</li> <li>- висока частка імпорту для забезпечення виробництва;</li> <li>- складність виходу на нові ринки;</li> </ul>
<p>Можливості:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Вдосконалення власної науково-технічної бази;</li> <li>- Вихід на нові ринки;</li> </ul>	<p>Загрози:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Загальний спад на ринку металообробки серед виробників;</li> <li>- Залежність від постачальників сировини та обладнання;</li> </ul>

На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок (див. табл. 9, аналіз потенційних конкурентів).

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл. 4.11).

Таблиця 4.11. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

<i>№ n/n</i>	<i>Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки</i>	<i>Ймовірність отримання ресурсів</i>	<i>Строки реалізації</i>
1	Забезпечення надійних і незалежних постачальників продукції	Невелика кількість виробників, що спеціалізуються на випуску заготовок, не складають конкуренції на ринку	У випадку використання заготовок для інструменту за стандартами ISO – 2..3 місяці.

		інструменту (Китай). Логістичні системи та об'єми продукції розвинуті на високому рівні.	
2	Освоєння власного заготівельного виробництва.	Велика кількість виробників твердосплавних порошків, на внутрішньому ринку також.	Для досягнення конкурентної точності необхідно 2..3 роки
3	Вихід на нові ринки збуту (міжнародні)	Можливо за умов розвитку об'ємів виробництва та маркетингу.	2..5 років

**Висновок.** В результаті аналізу можна зробити висновок, що освоєння власного заготівельного виробництва є перспективним Проте це потребує значних наукоємких затрат та часу для реалізації, що на початкових етапах є недоцільним. Тому обрано альтернативний шлях – розвиток відносин з виробниками твердосплавних заготовок і порошків, що не є конкурентами на ринку інструменту.

## 4.4 Розробка ринкової стратегії проекту

### 4.4.1 Опис цільових груп споживачів

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 4.12).

Таблиця 4.12. Вибір цільових груп потенційних споживачів

Л	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовні споживачів сприйняти продукт	Орієнто вний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсив ність конкуренції в сегменті	Прос тота входу у сегмент
---	--	---	--	--	---------------------------------

1	підприємства-виробники продукту в галузі машинобудування (обробка прес-форм, загартованих сталей)	Зацікавлені	Середній	Висока, не цінова	Середня доступність
2	Авіаційна, аеро-космічна галузі, автомобілебудування, приладобудування	Потенційно можливо	Середній	Висока, не цінова	Складно доступно
3	Підприємства зацікавлені в обробці важкооброблюваних матеріалів	Потребують нових рішень та пропозицій	Високий	Цінова, порівняно низька	Доступно
4	Ремонтні заводи, майстерні, депо і т.п.	Зацікавлені	Низький	Цінова, порівняно низька	Доступно
Які цільові групи обрано: підприємства зацікавлені в обробці важкооброблюваних матеріалів, ремонтні заводи, майстерні, депо і т.п., підприємства-виробники продукту в галузі машинобудування.					

Висновок. За результатами аналізу потенційних груп споживачів прийнято стратегію диференційованого маркетингу.

#### 4.4.2. Стратегія конкурентної поведінки

Результат аналізу наведено в табл. 4.13.

Таблиця 4.13. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
----------	--	--	---	-----------------------------------

1	Проект пропонує один із способів вирішення відомих проблем, дуже близький до вже відомих.	Пошук і розвиток клієнтської бази є одним з основних аспектів розвитку компанії.	Спільні характеристики товару продиктовані чинними стандартами та нормами підприємств.	заняття конкурентної ніші
---	---	--	--	---------------------------

**Висновок.** Стратегія заняття конкурентної ніші є найбільш актуальною, тому що за наведених технологій та конструкції інструменту знижується його собівартість. Це відкриває нові можливості для клієнтів, які раніше не користувались даним різновидом інструменту (дає змогу застосовувати нові матеріали, оптимізувати технологічні процеси, знизити витрати тощо). Такі ніші є не освоєними конкурентами і цей факт дозволяє зарекомендувати себе на ринку

## 4.5 Розроблення маркетингової системи проекту

### 4.5.1. Маркетингова концепція товару

Формування маркетингової концепції товару наведено в табл. 4.14.

Таблиця 4.14. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

<i>№ n/n</i>	<i>Потреба</i>	<i>Вигода, яку пропонує товар</i>	<i>Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)</i>
1	Зниження частки ціни інструменту у вартості механічної обробки	Ефективніший інструмент за ціною стандартного інструменту	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Відсутність додаткової вартості товару;</li> <li>- Низькі логістичні витрати</li> <li>- Можливість персонального підходу до клієнта в межах малосерійного виробництва</li> </ul>
2	Досягнення високих показників точності	Високоточний інструмент	відсутні
3	Обробка важкооброблюваних матеріалів	Інструмент із швилкорізальної сталі з оптимальної геометрією ріжучої частини	<ul style="list-style-type: none"> <li>- оптимальна геометрія ріжучої частини</li> <li>- Монолітна конструкція</li> </ul>

#### 4.5.2 Визначення цінових меж товару

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субституту, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл. 4.15.). Аналіз проводиться експертним методом.

Для порівняння за одиницю ціни прийнято вартість свердла із швидкорізальної сталі конкурентів – 35\$ (середня ціна для 10..16 мм свердла)

Таблиця 4.15 Визначення меж встановлення ціни

п/п	№	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
		0.05..0.8	0.9..1.5		0,65..0,95

**Висновок.** Межі ціни встановлено таким чином, щоб запропонований товар міг охоплювати як конкурентні галузі, так і нові, де використовують товари-замінники.

#### 4.5.3 Визначення оптимальної системи збуту

Визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (табл. 4.16)

Таблиця 4.16. Формування системи збуту

п/п	№	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
		Надають вибір постачальникам з широким асортиментом продукції логістичною доступністю та	Забезпечення в необхідних об'ємах різних підприємств-клієнтів.	В межах регіону, країни	Власна система збуту

**Висновки.** Провівши маркетинговий аналіз можливості застосування технології МАО для покращення якості свердел із швидкорізальної сталі можна зробити висновок, що запропонована технологія є достатньо конкурентоспроможною, щоб бути представленою на ринку. Виявлено ряд груп потенційних споживачів, та альтернативних шляхів застосування технології в межах обраної галузі. Досліджено можливі загрози та перспективи подальшого розвитку галузі. В цілому можна сказати, що запропонована технологія покращення інструменту може успішно зайняти долю ринку інструментального виробництва.



## ВИСНОВКИ

1. В результаті аналізу науково технічної літератури встановлено, що одним із перспективних методів покращення якості різального інструменту із швидкорізальної сталі є магнітно-абразивне оброблення. Даний метод забезпечує одночасне:

- рівномірне формування низької шорсткості робочих поверхонь;
- контрольоване формування радіусу округлення різальних кромки;
- підвищення твердості поверхневого шару матеріалу різального інструменту.

Доцільність проведення МАО для осьового кінцевого різального інструменту в умовах великих магнітних зон пояснюється необхідністю отримання рівномірного оброблення цих робочих поверхонь.

2. Проведено дослідження в результаті яких встановлено що:

- МАО свердел виготовлених з швидкорізальної сталі підвищує роботоздатність за рахунок формування шорсткості робочих поверхонь з величиною  $Ra < 0,25$  мкм, формування радіуси округлення РК необхідної величини (0.19 мкм) та незначне підвищення поверхневої твердості.

- при використанні у якості МАП рівновісних порошків округлої форми формування шорсткості, твердості поверхневого шару та радіус округлення відбувається за рахунок пластичного деформування внаслідок ударної взаємодії частинок МАП з робочими поверхнями інструменту;

- при використанні осколкових нерівновісних порошків формування шорсткості, твердості поверхневого шару та радіус округлення відбувається за рахунок абразивної здатності МАП;

- розмір фракції МАП впливає на глибину підвищення твердості матеріалу інструменту;

- на роботоздатність інструменту значний вплив має величина радіусу округлення РК та режими роботи при конкретних значеннях величини R;

- підтверджено попередні дослідження по МАО осьового інструменту

- вперше використанні при дослідженні порошки ДЧК 630/400 та Царамам 630/400 показали більш ніж сприятливий результат на якісні характеристики оброблюваних свердел

3. Виконано впровадження свердл оброблених МАІ на підприємстві ДП «Київський бронетанковий завод», результат роботи підтвердив отримані дані при дослідженнях.

4. Виконано базовий стартап проект, в якому розглянуто основні економічні вигоди технології методу МАО для свердел, попит на замовників, основні переваги та недоліки тощо.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Анурьев В. И. Справочник конструктора машиностроителя в трех томах. – М. : Машиностроение, 1980.- 728 с.
2. Армарего И. Дж. А., Браун Р.Х. Обработка металлов резанием. Пер. с англ Пастунова. В. А. – М. : Машиностроение, 1977.- 325с.
3. Базров Б. М., Куликов М.Ю., Егорычева Е.В Физическая модель изнашивания инструмента из быстрорежущей стали. // Вестник машиностроения, 1997. - №8. – С. 41-44.
4. Горбунов Б.И. Обработка металлов резанием, металлорежущий инструмент и станки. – М. ; Машиностроение, 1981. – 287с.
5. Грановский Г.И., Грановский В. Г. Резание металлов. – М.: Высшая школа. 1985. – 304 с.
6. Гузеев В.И., Дерябин И.П. Прогнозирование параметров точности при обработке отверстий. // Технология машиностроения. – 2006. - №4. – С. 9-14
7. Кабалдин Ю.Г. Трение и износ инструмента при резании //Вестник машиностроения, 1995. - №1. – С. 26-32
8. Кирсанов С.В., Гречишников В.А., Схиртладзе А.Г., Кокарев В.И. Инструменты для обработки точных отверстий. – М. : Машиностроение, 2005. - 336с.
9. Родин П.Р. Геометрия режущей части спирального сверла. – Киев : Техника, 1971. -136 с.
10. Родин П.Р. Металлорежущие инструменты. – Киев: Вища школа., 1986. -455с.
11. Барон Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов / Ю.М. Барон. – Л.: Машиностроение, 1986. – 176 с.
12. Барон Ю.М. Технология абразивной обработки в магнитном поле / Ю.М. Барон. – Л.: Машиностроение, 1975. – 127 с.
13. Барон Ю.М. Теоретическое и экспериментальное исследование процесса абразивной обработки деталей машин в магнитном поле: автореф. дисс.

на соис. уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.02.08 «Технология машиностроения» / Ю. М. Барон. – Л., 1969. – 23 с.

14. Барон Ю.М. Трение магнитно-абразивных порошков: внутреннее и в контакте с металлическими поверхностями / Барон Ю.М., Е.М. Желтобрюхов – Ленинград, 1985. – 7 с. – Деп. в ВНИИТЭМР, № 11 (169), с. 119 – № 235 мш – 85.

15. Барон Ю.М. Влияние состояния кромок лезвий на эффективность режущих инструментов / Ю.М. Барон // Инструмент и технологии. – Спб., 1997. – Вип. 5. – С. 1 – 11.

16. Беляев А.А. Влияние струйно-абразивной и магнитно-абразивной обработок на состояние рабочих поверхностей и режущих кромок сверл из быстрорежущей стали / А.А. Беляев, Б. Карпушевский, Л.Г. Дюбнер, В.С. Майборода // Вестн. двигателестроения. – 2007. – № 2. – С. 90 – 94.

17. Билык И. И. Получение магнитно-абразивных порошков с неравномерным распределением абразивной составляющей / И.И. Билык, А.Н. Степанчук. // Магнитно-абразивные материалы и методы их испытания. – К.: ИПМ АН УССР. – 1980. – С. 43 – 46.

18. Бобіна М.М. Структура та властивості поверхневого шару інструменту з сталі Р6М5 після магнітно-абразивної обробки / М.М. Бобіна, В.С. Майборода, Н.В. Ульяненко, А.Б. Бобін // Фізика і хімія твердого тіла. – 2002. – Т.3, №4. – С. 577 – 580.

19. Внуков Ю.М. Зношування і стійкість різальних лезових інструментів: навчальний посібник / Ю.М. Внуков, В.О. Залога – Суми: СумДУ, 2010. – 243 с.

20. Гейчук В.М. Синтез кінематики процесу магнітно-абразивної обробки в кільцевій ванні : дис. докт. техн. наук: 05.03.01 / Гейчук В.М. – Київ, 2012. – 472 с.

21. Грабченко А.І. Робочі процеси високих технологій у машинобудуванні / А.І. Грабченко, М.В. Верезуб, Ю.М. Внуков, П.П.Мельничук, Г.М.Виговський – Житомир: ЖДТУ, 2003. – 451 с.

22. Григорович В.К. Твердость и микротвердость металлов / В.К. Григорович. – М.: Наука, 1976. – 230 с.
23. Гнесин Г.Г. Принципы создания магнитно-абразивных материалов / Г.Г. Гнесин, М.Д. Крымский, Л.Н. Тульчинский // Магнитно-абразивные материалы и методы их испытания. – Киев: ИПМ АНУССР, 1980. – С. 17 – 25.
24. Джулій Д.Ю. Підвищення якості багатограних непереточуваних твердосплавних пластин при магнітно-абразивному обробленні в кільцевій ванні : дис. канд. техн. наук: 05.03.01 / Джулій Д.Ю. – Київ, 2014. – 175 с.
25. Дюбнер Л.Г. Магнитно-абразивная обработка концевой режущего инструмента / Л.Г. Дюбнер, В.С. Майборода, А.А. Ивановський // Вестник НТУУ «КПИ». Машиностроение. – Київ, 2003. – № 44. – С. 107 – 108.
26. Ефремов В.Д. Технологическое обеспечение качества рабочих кромок инструмента и деталей / В.Д. Ефремов, П.И. Ящерицын. – Мн.: БАТУ, 1997. – 251 с.
27. Евстищенко В.С. Магнитно-абразивный инструмент на основе железного порошка и электрокорунда / В.С. Евстищенко, Ю.И. Шляго, Е.М. Голинец // Магнитно-абразивные материалы и методы их испытания. – Киев: ИПМ АНУССР, 1980. – С.67–71.
28. Ивановський О.А. Формування магніто-абразивного інструменту для оброблення свердел в умовах великих магнітних щілин : дис. канд. техн. наук : 05.03.01 / Ивановський О.А. – Київ, 2009. – 135 с.
29. Крымский М.Д. Влияние формы магнитно-абразивных зерен на их режущую способность / М.Д. Крымский. // Порошковая металлургия. – 1983. – №6. – С. 83 – 85.
30. Крымский М.Д. Распределение и уплотнение магнитно-абразивного порошка в рабочем зазоре станка / М.Д. Крымский // Магнитно-абразивные материалы и методы их испытания. – Киев: ИПМ АНУССР, 1980. – С. 92 – 97.
31. Крымский М.Д. Методика оценки абразивной способности порошковых магнитно-абразивных материалов / М.Д. Крымский // Магнитно-

абразивные материалы и методы их испытания. – Киев: ИПМ АНУССР, 1980. – С. 84 – 92.

32. Крымский М.Д. Оптимизация свойств магнитно-абразивного материала на основе железа и карбида кремния / М.Д. Крымский, О.А. Катрус, А.И. Дубров // Магнитно-абразивные материалы и методы их испытания. – Киев: ИПМ АНУССР, 1980. – С. 25 – 33.

33. Крымский М.Д. Формирование порошкового магнитно-абразивного инструмента. II Условия заклинивания / М.Д. Крымский // Порошковая металлургия. – 1987. – №10. – С. 23 – 28.

34. Крымский М.Д. Формирование порошкового магнитно-абразивного инструмента. 1. Восстановимость формы / М.Д. Крымский // Порошковая металлургия. – 1987. – №9. – С. 8 – 12.

35. Ткачук І.В. Формування магнітно-абразивного інструменту зі стабільними властивостями в робочих зазорах кільцевого типу : дис. канд. техн. наук: 05.03.01 /Ткачук І.В. – Київ, 2015. – 163 с.

36. Майборода В.С. Основи створення і використання порошкового магнітно-абразивного інструменту для фінішної обробки фасонних поверхонь : дис. докт. техн. наук: 05.03.01 / Майборода В. С. – Київ, 2001. – 404 с.

37. Майборода В.С. Магнитно-абразивная обработка специальных деталей : дис. канд. техн. наук: 05.02.08 / Майборода В.С. – Киев, 1988. – 170 с.

38. Майборода В.С. Застосування магнітно-абразивної обробки для зміцнення різального інструменту / В.С. Майборода, Н.В. Ульяненко, Л.Г. Дюбнер, О.А. Івановський // Вісник ЖДТУ. – Житомир: ЖДТУ, 2003. – №3(27). – С. 22 – 31.

39. Майборода В. Магнітно-абразивне оброблення кінцевого різального інструменту в умовах великих магнітних щілин з використанням відновлювальних елементів / В. Майборода, Д. Джулій, І. Ткачук, О. Беляєв// Вісник ТНТУ. – Тернопіль, 2012 – № 4 (68) – С. 133 – 141.

40. Майборода В.С. Исследование условий магнитно-абразивной обработки при кольцевом расположении магнитных зазоров / В.С. Майборода, О.В.

Степанов, В.Я. Шлюко и др. // Технология и автоматизация машиностроения. – 1988. – №42. – С. 75 – 79.

41. Майборода В.С. Влияние процесса магнитно-абразивной обработки сверл из быстрорежущей стали на некоторые показатели их работоспособности / В.С. Майборода, А.А. Пливак, С.В. Майданбк, С.Г. Явтушенко // Вісник ДГМА. – 2007. – № 3/9. – С. 136 – 143.

42. Майборода В.С. Кінетика формування кромки кінцевого різального інструменту при магнітно-абразивному обробленні в магнітній системі типу «кільцева ванна» / В.С. Майборода, В.М. Гейчук, О.С. Клишта, О.А. Беляев // Процеси механічної обробки в машинобудуванні. Збірник наук. праць. ЖДТУ. – Житомир: ЖДТУ, 2009. – Вип. 7. – С. 131 – 159.

43. Олиker В.Е. Порошки для магнитно-абразивной обработки и износостойких покрытий / В.Е. Олиker. – М.: Металлургия, 1990. – 176 с.

44. Олиker В.Е. Абразивная обработка ферромагнитными порошками и пастами в магнитном поле / Олиker В.Е. – Киев: ИПМ АН УССР, 1984. – 43 с. – (Препринт / АН УССР, ИПМ; 1984).

45. Сакулевич Ф.Ю. Основы магнитно-абразивной обработки / Ф.Ю. Сакулевич. – Минск: Наука и техника, 1981. – 328 с.

46. Ткачук И.В. Особенности формирования магнитно-абразивного инструмента при магнитно-абразивной обработке в условиях больших рабочих зазоров кольцевого типа / И.В. Ткачук, В.С. Майборода, Д.Ю. Джулий // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. –

47. А.с. 878523 СССР, М.Кл. В24 В31/10. Способ магнитно-абразивной обработки / Ф.Ю. Сакулевич, Л.К. Минин, Ю.А. Базарнов и др. – №2160620/08; заявл. 04.08.75.; опубл. 07.11.81, Бюл. №41.

48. Cheung F.Y. Cutting edge preparation using magnetic polishing and its influence on the performance of high-speed steel drills / F.Y. Cheung, Z.F. Zhou, A. Geddam, K.Y. Li // Journal of Materials Processing Technology. – 2008. – Vol. 208 (1-3). – P. 196 – 204.

49. Denkena B. Cutting Edge Preparation for Cemented Carbide Milling Tools., Advances in Abrasive Technology / B. Denkena, L. de Leon, J. Köhler. // XII: 12th International Symposium on Advances in Abrasive Technology (ISAAT2009), 27-30 September 2009, Gold Coast Australia – 2009. – P. 597 – 602.
50. Denkena B. Cutting edge geometries / B. Denkena, D. Biermann // CIRP Annals Manufacturing Technology. – 2014. – Vol. 63(2). – P. 631 – 653.
51. Klimov O. Magnet-Abrasive-Bearbeitung von Werkzeuge aus WC-Hartmetall. Phd-Thesis, Otto von Guericke. – Magdeburg, Germany, 2014. – 159 p.
52. Tikal F. Schneidkantenpräparation Ziele, Verfahren und Messmethoden. Berichte aus Industrie und Forschung / F. Tikal, R. Bienemann, L. Heckmann // Kassel University Press GmbH. – Kassel, 2009. – 193 p.
53. Byrne G. Современное состояние технологий резания различных материалов и области их практического применения // Annals CIRP, Vol. 52. – 2003. – Nr. 2. – P. 483-507.